



11ª EDIÇÃO REVISTA CIENTÍFICA

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



✉ journal@faculdade.cefsa.edu.br

🌐 www.saijournal.cefsa.org.br

FUNDAÇÃO SALVADOR ARENA
ENTIDADE MANTENEDORA

Conselho Curador
Presidente: Regina Celi Venancio
Carlos Alberto Legori
Edson Marcos Zoccante
Hélio dos Santos Junior
Iara Satoco Fukunishi Yamada
Luis Carlos Rabello
Márcia Thiemi Uemura
Maria Luzia de Almeida
Marlene Barbieri Taveira
Nelson da Silva Leme
Regina Celi Venâncio
Toshihiko Kumamoto
Valcir Shigueru Omori
Venize Aparecida F. Vigatto

FACULDADE DE TECNOLOGIA TERMOMECANICA

Diretora Acadêmica
Luciana Guimarães Naves Lemos Borges
Coordenadores
Administração: Andrea Firmino de Sá
Engenharia de Alimentos: Ana Laura Tibério de Jesus
Engenharia de Controle e Automação: Silvio Celso Peixoto Gomes
Engenharia de Computação: Marcones Cleber Brito da Silva
Pesquisa e Extensão: Diogo Martins Gonçalves de Moraes

FTT Journal of Engineering and Business	São Bernardo do Campo	v. 1	n. 11	p. 214	Ago. 2026
---	--------------------------	------	-------	--------	-----------

CONTATO

Faculdade Engenheiro Salvador Arena
E-mail: journal@faculdade.cefsa.edu.br

EDITOR ACADÊMICO

Prof. Dr. Fernando Felício Pachi Filho

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL

Simone dos Santos Faria

APOIO EDITORIAL

Carla Fernanda Ribeiro de Alencar Vieira
Claudia Maria da Silva Amarante
Kátia Alves Aquino Guariso
Larissa Nogueira Viana
Luciane Alves
Rita de Cássia Ferreira de Sousa
Valéria Pompermayer Fazolim

SUPORTE TÉCNICO

Marcelo Salles

PRODUÇÃO EDITORIAL

Beatriz Lima Santos

REVISÃO

Sérgio Martins

COMITÊ EDITORIAL CIENTÍFICO

Prof. Dr. Antonio Tavares da Silva (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)
Profa. Dra. Claudia Fonseca Rosès (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo)
Prof. Dr. Daniel Oliveira (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)
Prof. Dr. Edmir Prado (Universidade de São Paulo-Leste)
Profa. Dra. Ilana Racowski (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)
Prof. Dra. Isabel Machado (Universidade de São Paulo)
Prof. Dr. Jean Bonvent (Universidade Federal do ABC)
Profa. Dra. Júlia Maria D'Andrea Greve (Universidade de São Paulo)
Profa. Dra. Lidia Maria Ruv Carelli Barreto (Universidade de Taubaté)
Prof. Dr. Leo Kugnik (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)
Prof. Dr. Mario Francisco Guerra Boaratti (Universidade Metodista de São Paulo)
Profa. Dra. Martha Regina Verruma-Bernardi (Universidade Federal de São Carlos)
Prof. Dr. Paulo Roberto Garcia Lucarelli (Universidade Nove de Julho)
Profa. Dra. Rosely Imbernon (Universidade de São Paulo- Leste)
Prof. Dr. Wagner Wuol (Faculdade Engenheiro Salvador Arena)

AVALIADORES DESTA EDIÇÃO

Prof. Dr. Alexandre dos Santos Roque (Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões)
Me. Alexsandro Ferreira Cordeiro (Universidade Tecnológica Federal do Paraná)
Profa. Dra. Ana Karla de Souza Abud (Universidade Federal de Sergipe)
Me. Bruno Luiz Schuster Rech (Universidade Estadual do Oeste do Paraná)
Prof. Dr. Claudemir Ramos (Instituto de Pesquisa Avançada e Soluções Inovadoras)
Prof. Dr. Emerson dos Santos Passari (Instituto Federal do Rio Grande do Sul)
Prof. Emerson Leão Brito do Nascimento (Fundação Centro de Análise Pesquisa e Inovação Tecnológica)
Prof. Dr. Fabrício Tonetto Londero (Centro Universitário Facens)
Me. Geronimo Barbosa Alexandre (Instituto Federal da Paraíba)
Dra. Gilmar Lima de Elua Roble (Centro Universitário FEI)
Prof. Me. Lucas da Silva Oliveira (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET-RJ)
Prof. Dra. Hingrid Barbosa de Souza (Universidade Nova Iguaçu)
Me. Jaime Elias Jemusse (Universidade Federal do Paraná)
Dr. Jorge Pereira da Silva (Universidade Federal do Rio Grande do Norte)
Me. José Roque Betiol Jr. (universidade Federal de Santa Catarina)
Prof. Dr. Juan Paulo Robles Balestero (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo)
Maria Laura Ferranty Mac Lennan (Centro Universitário FEI)
Me. Mateus Vorpapel (Universidade do Vale do Taquari)
Ma. Nágila Veiga Adrião Monteiro (Universidade Federal do Paraná)
Ma. Neuza Marques Ramos (Universidade Federal de Viçosa)
Ma. Noélia Pereira Prado (Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais)
Profa. Dra. Raissa Dália Paulino (Universidade Federal da Paraíba)
Prof. Dr. Rômulo Ferreira dos Santos (Unicesumar)
Ma. Ruth Bezerra Aranha (Universidade Federal da Paraíba)
Ma. Shirleia dos Santos Peixoto (Universidade Federal do Rio de Janeiro)
Profa. Dra. Suely Xavier dos Santos (Universidade Metodista de São Paulo)
Me. Vitor Amadeu Souza (Instituto Militar de Engenharia)

Sumário

7 Editorial

Administração

9 ***Espiritualidade nas organizações: uma revisão sistemática da literatura com ênfase em práticas organizacionais e qualidade de vida no trabalho***

Luciano José da Paixão Fiel Reis

27 ***Inovação em serviços de clínicas oftalmológicas: o marketing digital como ferramenta para alcançar oportunidades nas redes sociais***

Ayohana Matias Silva

Bárbara Kelly Rodrigues da Silva

Nicolle Lustoza Abreu

Suelma Santos do Carmo

Leandro Rodrigues da Silva

Engenharia de Alimentos

60 ***Desenvolvimento de bebida alcóolica fermentada mista utilizando suco de caju e maçã clarificados***

Luísa Lasso Raposo

Gabriella Aparecida de Souza Rodrigues

Débora Vitória Pereira Mesquita Gomes

Mateus Guilherme dos Santos

Leo Kunigk

84 ***Nova Rotulagem nutricional de alimentos e sua contribuição para os ODS: um estudo com base na Teoria da Mudança***

Ilana Racowski

Engenharia de Computação

109

AgentK: detecção inteligente de erros em arquivos de configuração do Kubernetes: uma implementação do Model Context Protocol

Vinicius Gabriel da Silva Olímpio

David Santos Pinheiro das Neves

Cleber dos Santos Santana

Wilson Pereira da Silva

Fábio Henrique Cabrini

126

Lumitemp: sistema para monitoramento de secagem de motores elétricos usando IOT

Enzo Brito Alves de Oliveira

Erikson Vieira Queiroz

Guilherme Alves Barbosa

Heitor Santos Ferreira

Tainara do Nascimento Casimiro

William Santin

Márcio Rodrigues da Silva

Engenharia de Controle e Automação

157

Aplicação da Transformada Rápida de Fourier na medição de tensão em circuitos de via ferroviários

Júlio Rodrigo Ribeiro dos Santos

Leandro Poloni Dantas

176

Robótica na saúde: construção e testes de um robô de triagem médica

Luiz Eduardo Moraes de Oliveira

Rogério Issamu Yamamoto

Gestão Educacional

197

Relatórios que falam: sustentabilidade empresarial na sala de aula

Luiza Cristina Sanches

Ilana Racowski

Editorial

Nesta 11ª edição da *FTT Journal of Engineering*, temos a satisfação de apresentar um conjunto de nove artigos representativos nas áreas de pesquisa promovidas na Fundação Salvador Arena. São trabalhos de pesquisadores de dentro e de fora de nossa instituição que têm em comum a preocupação de buscar perspectivas inovadoras sem perder de vista o potencial de aprimoramento do ser humano, propiciado pela ciência.

Na seção de Administração, Luciano José da Paixão Fiel Reis investiga, por meio de uma revisão sistemática de literatura, as evidências empíricas sobre a relação entre a espiritualidade no ambiente organizacional e o bem-estar no trabalho. Os resultados apontam para a associação entre espiritualidade e questões como bem-estar subjetivo, engajamento, satisfação, desenvolvimento humano e redução de estresse, entre outros. A maioria dos estudos sobre essa temática está concentrada em contextos culturais onde há maior integração entre valores espirituais e práticas profissionais. Ayohana Matias Silva, Bárbara Kelly Rodrigues da Silva, Nicolle Lustoza Abreu, Suelma Santos do Carmo e Leandro Rodrigues da Silva analisam o potencial de utilização do marketing digital como ferramenta para inovação de serviços em clínicas oftalmológicas para alcançar oportunidades em redes sociais. Os resultados da pesquisa, de caráter qualitativo e quantitativo, demonstram as dificuldades de manutenção da presença on line de profissionais dessa área e propõe uma metodologia para promover inovação em serviços e ampliar oportunidades nas redes sociais.

O artigo Desenvolvimento de bebida alcoólica fermentada mista utilizando suco de caju e maçã abre a seção de Engenharia de Alimentos. Na pesquisa, conduzida por Luísa Lasso Raposo, Gabriella Aparecida de Souza Rodrigues, Débora Vitória Pereira Mesquita Gomes, Mateus Guilherme dos Santos e Léo Kunigk, analisa-se a possibilidade de aproveitamento do pedúnculo do caju na elaboração de bebidas fermentadas para agregar valor a uma matéria-prima regional ainda subutilizada. A formulação desenvolvida apresentou viabilidade técnica e potencial, embora sejam necessários estudos sensoriais, de estabilidade e de viabilidade econômica em escala industrial. Ilana Racowski apresenta um estudo sobre a nova rotulagem nutricional de alimentos e sua contribuição para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Com base na Teoria da Mudança, a pesquisa identifica métricas para avaliar se a adoção da nova legislação influencia a conscientização dos consumidores, suas escolhas alimentares, sua saúde e a sustentabilidade.

Na seção de Engenharia de Computação, o artigo AgentK: detecção inteligente de erros em arquivos de configuração do Kubernetes, uma implementação do Model Context Protocol evidencia o potencial de correção de falhas da arquitetura proposta assim como o reforço de segurança e robustez de ambientes Kubernetes, em especial em cenários críticos como os de cidades inteligentes. O trabalho foi desenvolvido por Vinicius Gabriel da Silva Olimpio, David Santos Pinheiro das Neves, Cleber dos Santos Santana, Wilson Pereira da Silva e Fábio Henrique Cabrini. No trabalho Lumitemp: sistema para monitoramento e secagem de motores elétricos usando IOT, Enzo Brito Alves de Oliveira, Erikson Vieira Queiroz, Guilherme Alves Barbosa, Heitor Santos Ferreira, Tainara do Nascimento Casimiro, William Santim e Márcio Rodrigues da Silva apresentam o desenvolvimento de uma estrutura que integra Internet das Coisas (IoT), sistemas embarcados e a arquitetura de software Modelo-Visão-Controlador

(MVC) para sistema de controle térmico para uma estufa destinada à secagem de motores elétricos capaz de garantir uniformidade no processo de secagem, otimização energética e manutenção de condições ideais para os equipamentos.

Júlio Rodrigo Ribeiro dos Santos e Leandro Poloni Dantas abrem a seção de Engenharia de Controle e Automação com o artigo Aplicação da Transformada Rápida de Fourier no qual apresentam uma solução baseada em um sistema embarcado, utilizando um microcontrolador equipado com núcleo ARM Cortex®-M4 e técnicas de processamento digital de sinais (DSP) para realizar medições de tensão com precisão em circuitos de 60 Hz sem a necessidade de desligar os circuitos de áudio frequência (AFOs) em sistemas metroferroviários. O artigo Robótica na saúde: construção e testes de um robô de triagem médica de autoria de Luiz Eduardo Morais de Oliveira e Rogério Issamu Yamamoto, traz uma proposta de desenvolvimento de um protótipo de baixo custo que integra mobilidade, monitoramento fisiológico e comunicação remota

Na seção Gestão Educacional, Ilana Racowski e Luíza Cristina Sanches mostram no artigo Relatórios que falam o potencial de uso de relatórios de sustentabilidade como ferramenta pedagógica na formação de engenheiros ao favorecer a compreensão dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e sua aplicação nas organizações.

Esperamos que esta edição desperte o interesse dos leitores e os motive a realizar novas e instigantes pesquisas.

Boa leitura!

Espiritualidade nas organizações: uma revisão sistemática da literatura com ênfase em práticas organizacionais e bem-estar no trabalho

*Spirituality in organizations: a
systematic literature review with
emphasis on organizational
practices and well-being at work*

Administração

Luciano José da Paixão Fiel Reis

(072220003@faculdade.cefsa.edu.br)

Doutorando em Administração pelo Centro Univeristário FEI
e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA) e do
Centro Universitario SENAC

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026

• ISSN 2525-8729

Submissão: 19 set. 2025 Aceitação: 22 maio 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 9 – p. 26

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



**FACULDADE
ENGENHEIRO
SALVADOR ARENA**

Resumo

Diferentemente da religiosidade, tradicionalmente associada a crenças, rituais e instituições confessionais, a espiritualidade no trabalho refere-se à busca individual por propósito, significado e conexão nas atividades profissionais, independentemente de filiação religiosa. Este estudo teve como objetivo identificar e sintetizar evidências empíricas sobre a relação entre a espiritualidade no ambiente organizacional e o bem-estar no trabalho. Para tanto, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), baseada no protocolo PRISMA, a partir de estudos empíricos e estudos secundários indexados na base Scopus. Os resultados indicam que a espiritualidade no trabalho está associada a desfechos positivos, como bem-estar subjetivo, engajamento, satisfação, desenvolvimento humano e redução de estresse e burnout. Além disso, a literatura evidencia sua atuação como variável mediadora em diferentes modelos explicativos relacionados ao comportamento organizacional e à liderança espiritual. Observou-se maior concentração de estudos em contextos culturais nos quais valores espirituais apresentam maior integração às práticas profissionais. Conclui-se que a espiritualidade no trabalho constitui um importante recurso para a promoção do bem-estar dos trabalhadores e para o desenvolvimento de ambientes organizacionais mais saudáveis, colaborativos e sustentáveis, oferecendo contribuições teóricas e gerenciais para o campo da gestão de pessoas.

Palavras-chave: Espiritualidade no trabalho. Bem-estar no trabalho. Liderança espiritual.

Abstract

Unlike religiosity, which is traditionally associated with beliefs, rituals, and religious institutions, workplace spirituality refers to the individual pursuit of purpose, meaning, and connection in professional activities, regardless of religious affiliation. This study aimed to identify and synthesize empirical evidence on the relationship between workplace spirituality and employee well-being. To this end, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted following the PRISMA protocol, based on empirical articles indexed in the Scopus database. The findings indicate that workplace spirituality is associated with positive outcomes such as subjective well-being, work engagement, job satisfaction, human flourishing, and reduced levels of stress and burnout. Furthermore, the literature highlights its role as a mediating variable in different explanatory models related to organizational behavior and spiritual leadership. A greater concentration of studies was observed in cultural contexts where spiritual values are more strongly integrated into professional practices. It is concluded that workplace spirituality constitutes an important resource for promoting employee well-being and fostering healthier, more collaborative, and sustainable organizational environments, offering both theoretical and managerial contributions to the field of human resource management.

Keywords: Workplace spirituality. Workplace Well-Being. Spiritual Leadership.

Introdução

A compreensão contemporânea do trabalho ainda carrega resquícios históricos de sofrimento e coerção, como indica a etimologia do termo, oriundo do latim *tripalium* — instrumento de tortura composto por três estacas afiadas. Tal origem sugere que o trabalho, desde suas raízes semânticas, esteve associado à dor e ao castigo (Albornoz, 2014). Apesar da evolução semântica ao longo do tempo, essa carga simbólica persiste na concepção moderna, que associa o trabalho à mobilização de energia e à tensão orientada para um objetivo. Nesse sentido, ainda que o trabalho contemporâneo se relacione a processos produtivos e à realização pessoal, permanece vinculado à noção de esforço constante (Lhuillier, 2013). Esse entendimento oferece uma base crítica para refletir sobre as condições laborais atuais e seus impactos sobre a subjetividade e o bem-estar dos trabalhadores.

Para Cardoso e Santos (2016), a crescente padronização e mecanização das tarefas nas organizações contemporâneas contribuiu para a supressão das dimensões subjetivas do trabalhador, restringindo sua atuação à racionalidade técnica e operacional. Em resposta a esse esvaziamento existencial no ambiente laboral, a espiritualidade organizacional emerge como uma abordagem que reconhece a complexidade do ser humano, valorizando sua interioridade, a busca por sentido no trabalho e o sentimento de pertencimento coletivo. Nesse contexto, inaugura-se um novo paradigma gerencial que demanda práticas mais humanizadas e, progressivamente, espiritualizadas. No entanto, a consolidação desse modelo ainda enfrenta resistências, tanto pela escassez de instrumentos gerenciais que orientem sua aplicação quanto pelo estigma que associa espiritualidade à religiosidade institucional, dificultando sua legitimação no campo da gestão organizacional.

A espiritualidade no ambiente de trabalho tem despertado crescente interesse na literatura acadêmica, sendo associada a benefícios como maior engajamento, propósito, bem-estar subjetivo e desempenho organizacional (Ahmed et al., 2022; Alruwayti; Sulphrey, 2023). Conceituada como a integração de valores, sentido de pertencimento e propósito no trabalho, a espiritualidade nas organizações tem sido explorada como um fator que contribui para o bem-estar, especialmente em cenários marcados por estresse ocupacional, insatisfação e crises de saúde mental.

A espiritualidade no contexto laboral configura-se como a busca por propósito existencial, sentido e conexão transcendental no exercício profissional, desvinculada de sistemas religiosos institucionalizados (Cardoso; Santos, 2016). A religiosidade, por sua vez, diz respeito à adesão a crenças, rituais e normas oriundas de tradições religiosas formais, refletindo um engajamento com instituições e doutrinas estruturadas. Já o bem-estar refere-se à percepção do indivíduo acerca do equilíbrio entre demandas organizacionais, bem-estar psicossocial e realização pessoal no ambiente profissional, podendo ser influenciado por valores espirituais e religiosos que modulam o significado atribuído ao trabalho. A articulação entre espiritualidade, religiosidade e bem-estar no trabalho oferece uma perspectiva ampliada sobre o trabalho como experiência subjetiva, promotora de sentido, pertencimento e transcendência (Chongvisal, 2023; Hunsaker, 2019; Pradhan et al., 2023).

Apesar desse avanço, a maior parte das publicações concentra-se em abordagens teóricas ou na percepção individual dos trabalhadores, sem detalhar as práticas organizacionais concretas que promovem a espiritualidade no cotidiano das empresas (Vasconcelos, 2021). Há uma lacuna na literatura quanto à análise de intervenções estruturadas, como programas de meditação, espaços de silêncio, práticas de liderança espiritualizada ou políticas institucionais voltadas ao bem-estar (Ramaswamy et al., 2023). Nesse sentido, observa-se a necessidade de sistematizar as evidências empíricas disponíveis que abordam essas práticas e seus impactos no bem-estar.

O presente estudo tem como objetivo identificar e analisar, por meio de uma RSL, as evidências empíricas sobre a relação entre espiritualidade no trabalho e bem-estar dos trabalhadores. Para isso, a base de dados Scopus foi utilizada como fonte primária de busca, com os descritores (1) “espiritualidade no trabalho” e “workplace spirituality”, (2) “bem-estar” e “well-being”, considerando publicações em português e inglês. Assim, a pergunta de pesquisa que orienta esta investigação é: “Quais evidências empíricas demonstram a contribuição da espiritualidade no ambiente organizacional para o bem-estar no trabalho?” Esta RSL visa contribuir para a compreensão das práticas e intervenções espirituais no contexto organizacional e seus efeitos sobre o bem-estar, preenchendo uma lacuna relevante no campo da gestão de pessoas e do comportamento organizacional.

A seguir, descreve-se a metodologia adotada para a seleção, organização e análise dos estudos incluídos com base nos critérios do protocolo PRISMA que será justificada na próxima seção, e orientações consolidadas para revisões sistemáticas em ciências sociais aplicadas.

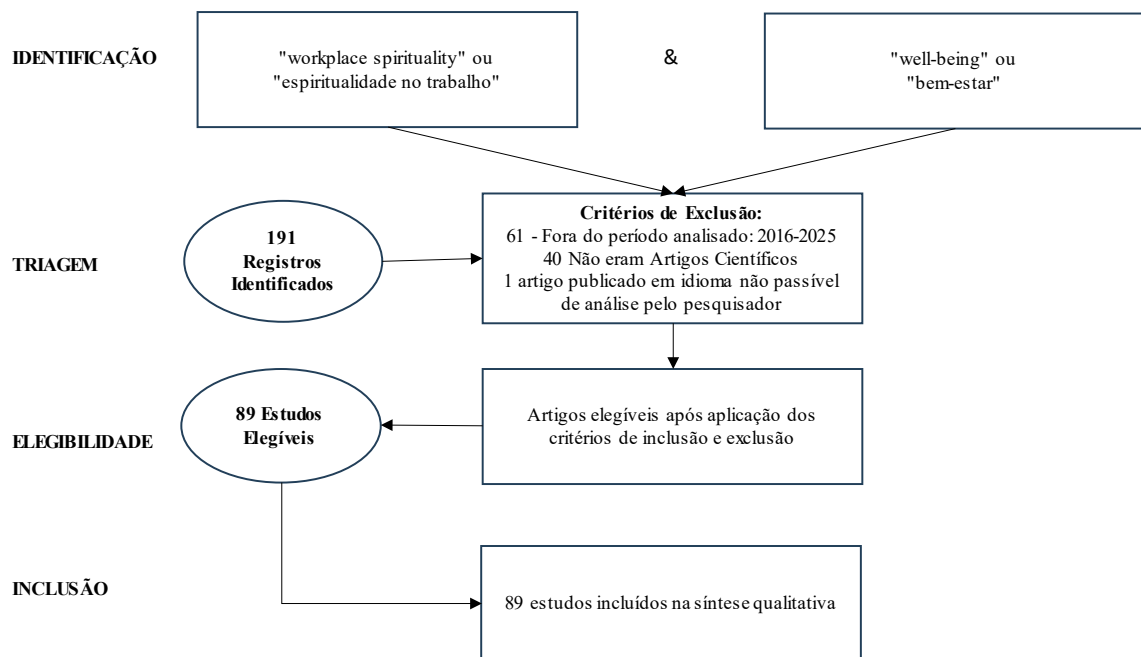
Metodologia

A RSL tem se mostrado um método relevante para sintetizar o conhecimento produzido sobre espiritualidade no ambiente de trabalho, possibilitando identificar lacunas, tendências e contribuições teóricas e práticas de maneira organizada e rigorosa (Faria et al., 2017). Diferente de revisões narrativas, a RSL adota critérios explícitos de busca, seleção e análise de estudos, o que confere maior confiabilidade aos resultados. Tais contribuições reforçam a importância da RSL como ferramenta metodológica essencial para consolidar campos emergentes de pesquisa (Rosa; Grecco, 2020), como o da espiritualidade nas organizações.

A RSL é fortalecida pela aplicação do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que orienta a condução de revisões por meio de etapas padronizadas, transparentes e replicáveis (Page et al., 2021) apresentado na figura 1. A coleta dos estudos foi realizada na base de dados internacional Scopus, escolhida por sua abrangência interdisciplinar e rigor na indexação de periódicos revisados por pares. Foram

utilizados os seguintes descritores de busca, combinados por operadores booleanos (Operadores booleanos são comandos como AND, OR e NOT usados para refinar buscas em bases de dados científicas): ("workplace spirituality" AND "well-being") OR ("espiritualidade no trabalho" AND "bem-estar").

Figura 1 - Fluxograma do processo de seleção dos estudos segundo o protocolo PRISMA



Fonte: elaborado pelo autor com base em Page et al. (2021)

Como critérios de exclusão, foram removidos documentos que não se enquadravam na proposta da pesquisa, incluindo registros duplicados, publicações classificadas como capítulos de livros, anais de eventos, editoriais, notas técnicas e outros materiais não submetidos ao processo de revisão por pares. Também foram excluídos estudos sem acesso ao texto completo, artigos publicados fora do período delimitado (2016–2025), publicações em idiomas que impossibilitassem a adequada análise do conteúdo e estudos que não abordavam diretamente a relação entre espiritualidade no trabalho e bem-estar no contexto organizacional. Após a aplicação desses critérios, a amostra final foi composta por 89 artigos científicos considerados aderentes aos objetivos desta revisão.

A busca bibliográfica foi realizada em maio de 2025, priorizando artigos publicados em periódicos científicos indexados e revisados por pares. Adotou-se como critério de inclusão a disponibilidade de acesso integral ao conteúdo e a possibilidade de análise adequada pelo pesquisador, visando assegurar a confiabilidade da extração e interpretação dos dados. Tal procedimento buscou garantir rigor metodológico, relevância teórica e consistência na síntese das evidências identificadas.

Os critérios de inclusão consideraram: (i) artigos científicos completos; (ii) estudos empíricos e estudos secundários relevantes para contextualização teórica (quantitativos, qualitativos ou mistos); e (iii) foco explícito na relação entre espiritualidade no trabalho e bem-estar. Os dados extraídos foram organizados em uma matriz de análise com as seguintes variáveis: autor(es), ano de publicação e título do artigo que será apresentado no quadro 1.

A próxima seção apresenta os resultados obtidos a partir da análise dos estudos selecionados, bem como a categorização das práticas espirituais organizacionais e seus respectivos impactos sobre o bem-estar.

Quadro 1 - Revisão da literatura sobre espiritualidade e bem-estar no trabalho

Nº	Ano	Autor(es)	Título do Artigo
1	2016	Pawar B.S.	Workplace spirituality and employee well-being: an empirical examination
2	2016	Hunsaker W.D.	Spiritual leadership and organizational citizenship behavior: relationship with Confucian values
3	2017	Djafri F.; Noordin K.	The impact of workplace spirituality on organizational commitment: A case study of Takaful agents in Malaysia
4	2017	Wahid N.K.A.; Mohd. Mustamil N.	Ways to maximize the triple bottom line of the telecommunication industry in Malaysia: The potentials of spiritual well-being through spiritual leadership
5	2017	Fry L.W.; Latham J.R.; Clinebell S.K.; Krahnke K.	Spiritual leadership as a model for performance excellence: a study of Baldrige award recipients
6	2017	McGhee P.; Grant P.	The transcendent influence of spirituality on ethical action in organizations
7	2017	Garg N.	Workplace Spirituality and Employee Well-being: An Empirical Exploration
8	2017	Zou W.-C.; Dahling J.	Workplace spirituality buffers the effects of emotional labour on employee well-being
9	2017	Hunsaker W.D.	Workplace spirituality and work-family conflict: Interrelationship of engagement and well-being
10	2017	Belwalkar S.; Vohra V.	Lokasamgraha and Bhutan's gross national happiness: Converging models for workplace spirituality and well-being
11	2018	Hunsaker W.D.	Workplace spirituality and well-being: Examining the relationship on employee engagement in South Korea
12	2019	Hunsaker W.D.	Spiritual leadership and job burnout: Mediating effects of employee well-being and life satisfaction
13	2019	Aboobaker N.; Edward M.; Zakkariya K.A.	Workplace spirituality, employee wellbeing and intention to stay: A multi-group analysis of teachers' career choice
14	2019	Sholikhah Z.; Wang X.; Li W.	The role of spiritual leadership in fostering discretionary behaviors: The mediating effect of organization based self-esteem and workplace spirituality
15	2019	Bayighomog S.W.; Arasli H.	Workplace spirituality–customer engagement Nexus: the mediated role of spiritual leadership on customer–oriented boundary–spanning behaviors
16	2019	Foster S.; Foster A.	The impact of workplace spirituality on work-based learners: Individual and organisational level perspectives
17	2019	Mahipalan M.; Sheena S.	Workplace spirituality, psychological well-being and mediating role of subjective stress: A case of secondary school teachers in India
18	2020	Pavan Kumar S.	Workplace spirituality as an antecedent of university teachers' subjective well-being: Mediating role of job satisfaction and job performance
19	2020	Adnan N.; Bhatti O.K.; Farooq W.	Relating ethical leadership with work engagement: How workplace spirituality mediates?
20	2020	Eliyana A.; Sridadi A.R.	Workplace spirituality and job satisfaction toward job performance: The mediation role of workplace deviant behavior and workplace passion
21	2020	Hunsaker W.D.; Jeong W.	Engaging employees through spiritual leadership
22	2020	Shelton C.D.; Hein S.; Phipps K.A.	Resilience and spirituality: a mixed methods exploration of executive stress
23	2020	Haldorai K.; Kim W.G.; Chang H.S.; Li J.J.	Workplace spirituality as a mediator between ethical climate and workplace deviant behavior
24	2020	Sajjad A.; Shahbaz W.	Mindfulness and Social Sustainability: An Integrative Review
25	2020	De Carlo A.; Dal Corso L.; Carluccio F.; Colledani D.; Falco A.	Positive Supervisor Behaviors and Employee Performance: The Serial Mediation of Workplace Spirituality and Work Engagement
26	2021	Pawar B.S.	Workplace Spirituality Research Summary for Teaching in Organizational Behavior Courses
27	2021	Koburtay T.; Alzoubi A.	The linkages between person-organization spirituality fit and workers' psychological well-being
28	2021	Hunsaker W.D.	Spiritual leadership and work–family conflict: mediating effects of employee well-being
29	2021	Vasconcelos A.F.	Individual spiritual capital: meaning, a conceptual framework and implications
30	2021	Riasudeen S.; Singh P.	Leadership Effectiveness and Psychological Well-being: The Role of Workplace Spirituality

Nº	Ano	Autor(es)	Título do Artigo
31	2021	Marques J.	At the intersection of workplace spirituality and Buddhist psychology: a critical summary of literature
32	2021	Yee J.K.L.; Smith J.; Robinson S.	Spiritual well-being and work performance among ground-level employees: Unravelling the connection
33	2021	Lata M.; Chaudhary R.	Workplace Spirituality and Experienced Incivility at Work: Modeling Dark Triad as a Moderator
34	2022	Khatri P.; Gupta P.	Impact of Workplace Spirituality on Employee Well-Being: The Mediating Role of Organizational Politics
35	2022	Hassan S.; Ansari N.; Rehman A.; Moazzam A.	Understanding public service motivation, workplace spirituality and employee well-being in the public sector
36	2022	Srivastava S.; Gupta P.	Workplace spirituality as panacea for waning well-being during the pandemic crisis: A SDT perspective
37	2022	Hassan S.; Ansari N.; Rehman A.	An exploratory study of workplace spirituality and employee well-being affecting public service motivation: an institutional perspective
38	2022	Zou W.C.; Houghton J.D.; Li J.J.	Workplace spirituality as a means of enhancing service employee well-being through emotional labor strategy choice
39	2022	Navare A.; Pandey A.	Karma Yoga: Scale development and studies of the impact on positive psychological outcomes at the workplace
40	2022	Hunsaker W.D.	Spiritual leadership and employee innovation
41	2022	Hunsaker W.D.; Ding W.	Workplace spirituality and innovative work behavior: the role of employee flourishing and workplace satisfaction
42	2022	Paul M.; Jena L.K.	Workplace spirituality, teachers' professional well-being and mediating role of positive psychological capital: an empirical validation in the Indian context
43	2022	Jolliffe P.; Foster S.	Different Reality? Generations' and Religious Groups' Views of Spirituality Policies in the Workplace
44	2022	Aboobaker N.; Edward M.; Zakkariya K.A.	Workplace spirituality, well-being at work and employee loyalty in a gig economy: multi-group analysis across temporary vs permanent employment status
45	2023	Alruwayti H.A.; Sulphay M.M.	The interconnections of workplace spirituality, mindfulness, subjective well-being, and task performance: A study using structural equation modeling
46	2023	Ramaswamy M.; Viswanathan R.; Kaniyarkuzhi B.K.; Neeliyadath S.	The moderating role of resonant leadership and workplace spirituality on the relationship between psychological distress and organizational commitment
47	2023	Hunsaker W.D.; Jeong W.	Spiritual Leadership and Work-life Balance
48	2023	Rhyu K.; Lee G.; Baek H.	Association Among Workplace Spirituality, Spiritual Well-Being, and Spiritual Care in Practice With Multiple Mediators for Clinical Nurses
49	2023	Na'imah T.; Tjahjono H.K.; Madjid A.	Workplace Well-Being: The Roles of Perceived Organizational Support, Organizational Justice and Workplace Spirituality
50	2023	Chirico F.; Batra K.; Batra R.; et al.	Spiritual well-being and burnout syndrome in healthcare: A systematic review
51	2023	Alam M.N.; Iqbal J.; Alotaibi H.S.; et al.	Does Workplace Spirituality Foster Employee Ambidexterity? Evidence from IT Employees
52	2023	Chongvisal R.	Development and outcome of workplace spirituality: An empirical study in Thailand
53	2023	Houghton J.D.; Oxarart R.A.; Langlinais L.A.	Disrupting the Dysfunction: Workplace Spirituality, Dispositional Influences, and Job Satisfaction
54	2023	Pradhan R.K.; Jandu K.; Samal J.; Patnaik J.B.	Does practicing spirituality at workplace make teachers more engaged? Examining the role of emotional intelligence
55	2023	Hassan S.; Ansari N.; Rehman A.	Public service motivation, workplace spirituality and employee well-being: a holistic approach
56	2023	Binu Raj A.; Ambreesh P.; Tripathi N.N.; Ambreesh Kumar A.	Workplace spirituality and job satisfaction among teachers: influence of well-being and spiritual leadership
57	2024	Bagis F.; Adawiyah W.R.; Sudjadi A.	Employee's spiritual well-being: diminishing the negative effects of job stress, ego depletion and cyberloafing
58	2024	Tigedi R.N.; van der Walt F.; Nyetanyane M.P.	Workplace spirituality and its relevance to workplace flourishing
59	2024	Dhir S.; Singh S.	Workplace spirituality: a meta-analysis of conceptualisation of constructs

Nº	Ano	Autor(es)	Título do Artigo
60	2024	Fajar A.; Sanusi A.; Arifin S.	The impact of organizational culture and spiritual leadership on performance: mediating roles of workplace spirituality and innovation
61	2024	Simola S.	Storytelling as Pedagogical Practice in Support of Transcendence and Well-Being
62	2024	Kumar A.; Sengupta S.S.	A spiritual assessment of the Indian banking industry
63	2024	Makkaoui M.; Hannoun F.-Z.; Ouazizi K.; et al.	Spirituality as predictor of psychological well-being at work in the Moroccan context: A cross-sectional study
64	2024	Sode R.; Chenji K.; Vijayaraghavan R.	Exploring workplace spirituality, mindfulness, digital technology, and psychological well-being: A complex interplay in organizational contexts
65	2024	Chenji K.; Sode R.	Synergizing workplace spirituality: fostering happiness, hardiness and psychological well-being in organizations
66	2025	Bae K.-W.; Kim J.-H.; Sul J.-Y.	Workplace spirituality and mindfulness in professional female dancers: The mediating role of mental well-being in organizational Commitment
67	2025	Jessani K.; Ngo M.S.M.; Lau P.Y.Y.	Does workplace spirituality play a protective role? A study on job insecurity, perceived business uncertainty, and employee well-being in Pakistan during the COVID-19 pandemic
68	2025	Jinu R.T.; Subathra K.; Senthilkumar S.	Workplace Spirituality's Effect on Employee Well-Being, Work-Family Integration and Loyalty in Higher Education Institutions: A Holistic Model
69	2025	Poonam; Sengupta S.S.	The moderating role of workplace spirituality in the relationship between employees' psychological well-being and job performance
70	2025	Hussain S.; Hussain Z.	Workplace Spirituality and Happiness at Work Among School Teachers with Mediating Effect of Job Stress
71	2025	Tewari D.; Sengupta S.; Bisht M.K.	Navigating employee diversity: role of demographics in shaping workplace spirituality in non-Western hospitality sector
72	2025	Kumar V.; Kumar S.; Arora A.; Pandey V.; Saha P.K.	Workplace Spirituality as a Predictor of Job Satisfaction: An Empirical Study among Teachers in Higher Education
73	2025	Vesal M.; Alam M.A.	Emerging stronger from challenging times: How servant leaders manage workplace spirituality and employee flourishing
74	2025	Yousaf U.; Dogar M.N.	Spiritual values in action: unveiling the ultimate wellness kit for organizations
75	2025	Phong C.T.; Point S.; Huong D.T.	Nurturing the soul at work: spiritual values and psychological well-being in Vietnamese companies
76	2025	Pariyanti E.	Building lecturer resilience through Islamic workplace spirituality: addressing the impact of toxic work environments and financial anxiety on turnover intentions
77	2025	Khumalo R.; Hewitt L.M.; Harrop-Allin M.	Addressing toxicity and enhancing inclusive culture in the banking sector through spiritual leadership
78	2025	Koul S.	Does Workplace Spirituality Enhance Employee Well-Being? The Mediating Role of Workplace Happiness
79	2025	Gomes G.; Coelho A.; Ribeiro N.	Sustainable HRM Impact on Employees' Behaviors Through Workplace Spirituality
80	2025	Yousaf U.; Dogar M.N.	Fostering sustainability through workplace spirituality: qualitative study of case study organizations
81	2025	Sukistini A.S.; Robiani B.; Zunaidah; Widiyanti M.	The Impact of Regular Spiritual Leadership Training and Workplace Spirituality on The Emotional Well-Being and Job Satisfaction of Nurses
82	2025	Chingan Thottathil S.; Nandakumar M.K.	Integrating Hedonic and Eudaimonic Perspectives of Well-Being: A Conceptual Model for Sustaining Employee Well-Being in the Remote Work Context
83	2025	Joshi A.; Kumar D.; Shabnam	Measuring Workplace Spirituality Through Yoga: Implications for HR and Leadership
84	2025	Dhir S.	Role of workplace spirituality on work-related attitudes and outcomes: The moderating role of organisational politics
85	2025	Yamin M.A.Y.; Al Aqra N.T.M.	Achieving employee mental health through HR practices, spirituality and justice: Empirical findings from Saudi Arabian health sector using PLS-SEM approach
86	2025	Nath A.G.	Reframing workplace spirituality: A critical inquiry through Cummings' dimensions
87	2025	Wilke N.G.; Medefind J.; Howard A.H.	Organization Spiritual Support, Burnout, and Well-being in Child Welfare Settings
88	2025	Bagis F.; Adawqiyah W.R.; Purnomo R.; Setyanto R.P.	The Power of Islamic Spirituality in Diminishing Darkness of Job Stress, Ego Depletion and Cyberloafing Diversion in the Islamic Workplace Culture
89	2025	Yousaf U.; Khan M.F.; Khan I.; Khan M.Z.; Dogar M.N.	Spiritually empowered leadership and workplace spirituality at Akhuwat foundation: a qualitative case study

Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da Scopus (2025).

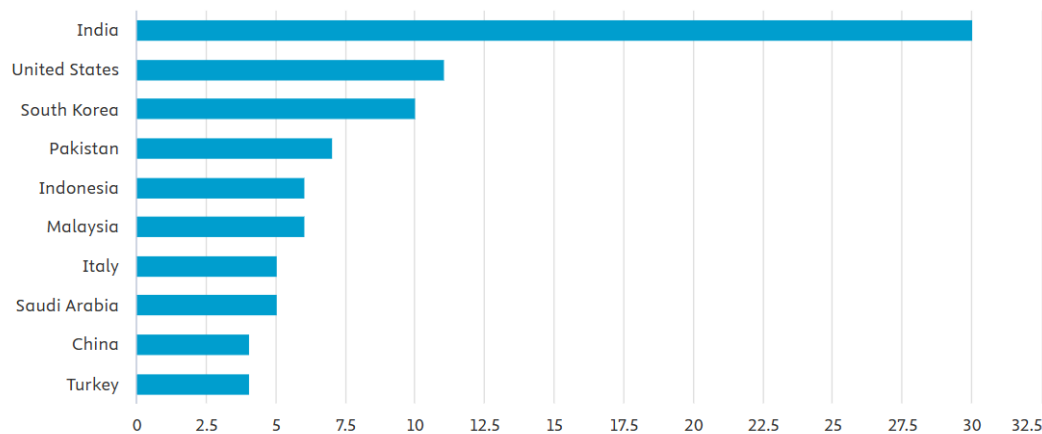
Resultados

A aplicação do protocolo PRISMA resultou na seleção de 89 artigos empíricos e estudos secundários relevantes para a contextualização teórica que atenderam aos critérios de inclusão definidos para esta RSL, apresentados na metodologia. Esses estudos foram publicados entre os anos de 2016 e 2025, com maior concentração a partir de 2020, o que evidencia o crescimento do interesse acadêmico sobre espiritualidade no ambiente organizacional e sua relação com o bem-estar, especialmente no contexto pós-pandêmico.

A figura 2 ilustra a distribuição geográfica dos estudos sobre espiritualidade no ambiente organizacional, conforme dados extraídos da base Scopus. Observa-se a predominância expressiva da Índia na produção científica sobre o tema, com 30 documentos indexados, seguida por Estados Unidos e Coreia do Sul. A predominância de estudos provenientes da Índia pode ser explicada pela forte influência de tradições filosóficas e espirituais orientais, como o Vedanta, o Budismo e o Karma Yoga naquele país, frequentemente incorporadas às discussões sobre espiritualidade organizacional; assim, países como Paquistão, Indonésia, Malásia e China também se destacam, evidenciando uma concentração significativa de pesquisas em contextos asiáticos.

Tal distribuição sugere que a temática da espiritualidade no trabalho tem despertado maior interesse em países cujas culturas valorizam práticas espirituais integradas à vida profissional. Essa tendência indica uma ênfase crescente em abordagens organizacionais que incorporam dimensões subjetivas, como propósito, bem-estar e conexão interpessoal, sobretudo em realidades socioculturais onde tais elementos são considerados fundamentais para a compreensão do comportamento organizacional.

Figura 2 - Artigos por país de origem

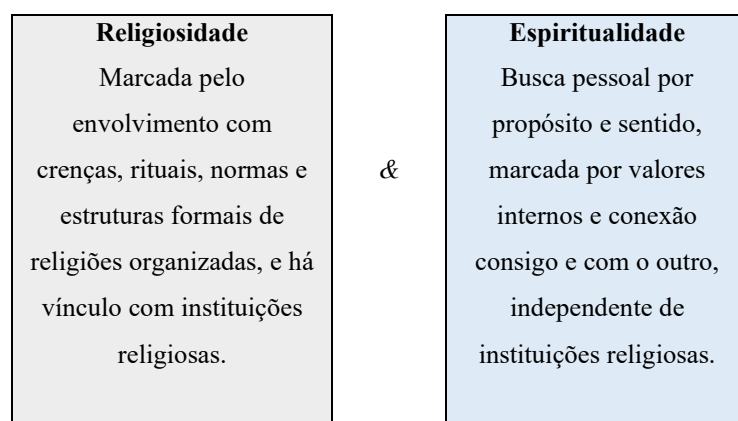


Fonte: elaborado pelo autor com base em dados da Scopus (2025).

Essa ênfase em dimensões subjetivas nas abordagens organizacionais — como propósito, bem-estar e conexão interpessoal — revela a importância crescente de distinguir conceitualmente espiritualidade e religiosidade no ambiente de trabalho. A espiritualidade organizacional é compreendida como a manifestação de uma busca pessoal por sentido, plenitude e alinhamento de valores no contexto laboral, independente de vínculos com sistemas religiosos formais. Em contrapartida, a religiosidade refere-se à adesão a crenças, rituais e instituições religiosas organizadas, sendo marcada por elementos estruturados e normativos (Cardoso; Santos, 2016; Koburtay; Jamali; Aljafari, 2023).

A seguir, a figura 3 apresenta essa distinção de maneira sistematizada, destacando os contrastes conceituais entre espiritualidade e religiosidade no âmbito organizacional.

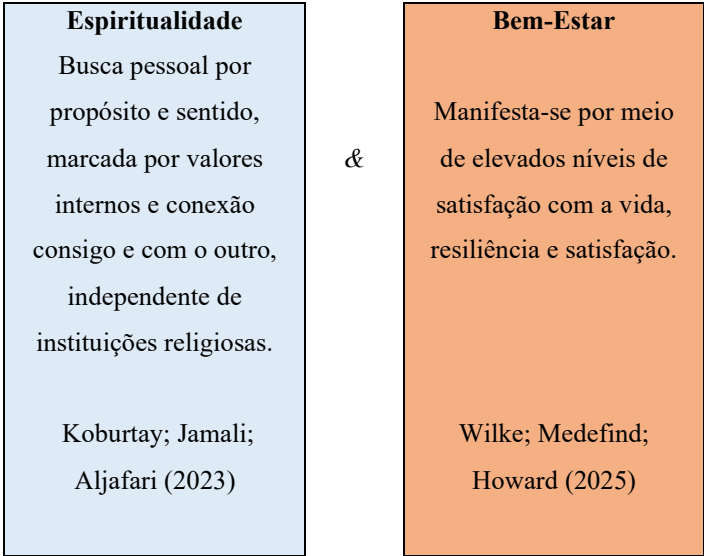
Figura 3 - Contexto de religiosidade e espiritualidade



Fonte: elaborado pelo autor com base em Koburtay, Jamali e Aljafari (2023).

Já o bem-estar, conforme evidenciado por Walton (1973), refere-se ao equilíbrio entre bem-estar físico, mental e espiritual no ambiente profissional. Ele é impulsionado por práticas organizacionais que promovem espiritualidade no trabalho, como o fortalecimento de valores, propósito e relações interpessoais, contribuindo para maior engajamento, satisfação e redução do estresse entre os colaboradores, como é apresentado na figura 4.

Figura 4 - Contexto de espiritualidade e bem-estar



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Após compararmos os conceitos, foi possível partir para a próxima etapa, na qual os achados foram organizados em três **categorias principais** de práticas espirituais no trabalho, conforme seus enfoques e impactos sobre o bem-estar:

1. **Práticas organizacionais estruturadas:** estudos como Ahmed et al. (2022) demonstram que diferentes dimensões da espiritualidade no trabalho estão associadas ao bem-estar psicológico, satisfação e redução de estresse, indicando o potencial de práticas organizacionais voltadas ao fortalecimento da espiritualidade.
2. **Liderança espiritualizada:** estudos como os de Hunsaker (2019), Zou et al. (2020) e Ramaswamy et al. (2023) evidenciaram que estilos de liderança baseados em valores transcendentais — como compaixão, visão compartilhada, fé e altruísmo — contribuem para o aumento do senso de pertencimento, da motivação intrínseca e da satisfação no trabalho, atuando como mediadores importantes entre a espiritualidade organizacional e o bem-estar.

3. **Alinhamento de valores e cultura espiritual no ambiente de trabalho:** a presença de uma cultura organizacional que respeita e incentiva a expressão de valores espirituais, como cooperação, empatia, gratidão e propósito coletivo foi apontada como fator decisivo para a manutenção da saúde psicológica dos trabalhadores (Vasconcelos, 2021; Koburtay et al., 2023). Em especial, foi observado que o alinhamento entre os valores pessoais e os valores institucionais contribui diretamente para a percepção de bem-estar no trabalho.

Por fim, destaca-se que a maior parte dos estudos apontou resultados positivos, mas também foi mencionada a necessidade de cautela em contextos multiculturais e inter-religiosos, onde intervenções espirituais podem gerar desconforto ou conflitos se não forem bem planejadas (Foster; Foster, 2019).

A seguir, a seção de discussão apresenta uma análise crítica das evidências encontradas, destacando as convergências, lacunas e implicações práticas e teóricas para o campo da espiritualidade nas organizações.

Discussão

Os resultados desta RSL demonstram um avanço significativo nas investigações empíricas que relacionam espiritualidade no trabalho com o bem-estar, indicando uma tendência crescente na adoção de práticas e intervenções espirituais como estratégias organizacionais para a promoção do bem-estar.

Entre os pontos de convergência identificados nos estudos está o reconhecimento da espiritualidade no trabalho como um fator positivo para o fortalecimento do vínculo entre os colaboradores e a organização. As evidências reforçam que a espiritualidade favorece a coesão social, o alinhamento de valores e a construção de ambientes psicologicamente seguros, o que contribui para a percepção ampliada de bem-estar (Rajni; Jalan, 2025; Chirico et al., 2023). Além disso, intervenções lideradas por líderes espiritualizados, que integram princípios como compaixão, altruísmo e visão compartilhada, têm sido eficazes na redução de *burnout* e na elevação da satisfação profissional (Hunsaker, 2019; De Carlo et al., 2020).

No entanto, a análise crítica dos estudos também revela algumas lacunas importantes, nas quais a maioria das pesquisas concentra-se em contextos asiáticos, com forte influência de tradições religiosas e filosóficas locais, o que limita a generalização dos resultados para culturas ocidentais ou ambientes corporativos laicos. Além disso, embora existam estudos que apontam para efeitos positivos de práticas espirituais sobre o bem-estar, poucos investigam os riscos de implementações descontextualizadas ou forçadas, como possíveis conflitos éticos, resistência por parte dos colaboradores ou o uso instrumentalizado da espiritualidade pela liderança (Foster; Foster, 2019; Vasconcelos, 2021).

Outra limitação observada diz respeito à predominância de delineamentos transversais, que dificultam a análise de causalidade e o acompanhamento dos efeitos das intervenções ao longo do tempo. Estudos longitudinais e qualitativos mais aprofundados ainda são escassos, mas seriam essenciais para compreender a trajetória subjetiva do bem-estar espiritual no ambiente de trabalho e sua interação com fatores culturais, organizacionais e individuais (Koburtay et al., 2021; Alruwayti; Sulphrey, 2023).

Do ponto de vista prático, os achados desta RSL oferecem subsídios para organizações, pesquisadores, gestores e profissionais de Recursos Humanos que desejam promover o bem-estar nas organizações por meio de iniciativas com base espiritual. Tais iniciativas, contudo, devem ser conduzidas com sensibilidade, respeitando a diversidade de crenças e valores dos colaboradores, e alinhadas com uma cultura organizacional que valorize a escuta, a autenticidade e a inclusão.

Em termos teóricos, os resultados ampliam a compreensão sobre a espiritualidade no trabalho como um constructo multidimensional e dinâmico, cuja eficácia depende da interrelação entre práticas institucionais, lideranças coerentes, alinhamento de valores e abertura à expressão espiritual dos indivíduos. A integração com a espiritualidade precisa ser analisada à luz de teorias contemporâneas, como a Teoria da Autodeterminação (Ryan; Deci, 2000) e os fundamentos da Psicologia Positiva, que permitem aprofundar os mecanismos psicológicos que sustentam esses efeitos positivos.

Essas evidências reforçam a necessidade de abordagens mais robustas e culturalmente sensíveis, tanto na pesquisa quanto na prática organizacional. A próxima seção apresenta as considerações finais do estudo, destacando suas principais contribuições, limitações e direções para futuras investigações.

Considerações Finais

Esta RSL teve como objetivo investigar as evidências empíricas disponíveis sobre o impacto das práticas e intervenções espirituais no ambiente organizacional sobre o bem-estar. Os resultados obtidos demonstram que a espiritualidade no trabalho não apenas se consolida como um tema relevante no campo da gestão de pessoas e da estratégia organizacional, mas também apresenta efeitos positivos sobre múltiplas dimensões do bem-estar, como engajamento, satisfação, saúde mental, motivação e pertencimento.

Estudos contemporâneos evidenciam a crescente relevância da espiritualidade no ambiente organizacional, com impactos significativos sobre múltiplas dimensões do trabalho. Em contextos socioculturais marcadamente espirituais, como os países asiáticos, a espiritualidade no trabalho mostra-se mais integrada à cultura organizacional (Sode et al., 2024), enquanto em países ocidentais, como o Reino Unido, ainda há resistência à tematização dessa dimensão no espaço laboral (Foster; Foster, 2019). Essa heterogeneidade cultural reflete-se na aplicação da espiritualidade em setores específicos, como saúde e educação superior, nos quais as práticas espirituais são mais recorrentes (Hassan et al., 2023). A literatura também destaca a atuação de lideranças espirituais orientadas para o serviço ao próximo (Zou et al., 2020; Hassan et al., 2022), que demonstram influência direta sobre a coesão e o bem-estar da equipe, especialmente em contextos de pressão e estresse (Shelton et al., 2020). Além disso, que tais lideranças contribuem para o reconhecimento de comportamentos incivilizados no ambiente organizacional, promovendo maior clareza ética (Lata; Chaudhary, 2021).

Além desses aspectos, a espiritualidade organizacional tem sido reconhecida como variável mediadora em relações psicossociais complexas (Adnan et al., 2020), bem como preditora de bem-estar psicológico (Makkaoui et al., 2024). Evidências empíricas apontam que colaboradores inseridos em ambientes espiritualmente receptivos apresentam menor nível de estresse, maior satisfação laboral — mesmo diante de remunerações mais modestas — e engajamento ampliado (Yousaf et al., 2025). Há ainda indicações de que práticas espirituais estimulam a criatividade e a proposição de soluções inovadoras (Hunsaker; Ding, 2022), além de qualificar o atendimento ao cliente, fortalecendo o engajamento externo (Bayighomog; Arasli, 2019). Tais evidências reforçam a importância de se considerar a espiritualidade como uma dimensão estratégica na gestão de pessoas e no fortalecimento de ambientes organizacionais mais saudáveis, éticos e comprometidos com o bem-estar coletivo.

Do ponto de vista prático, esta RSL oferece subsídios para que gestores e formuladores de políticas organizacionais considerem a espiritualidade como um componente estratégico da promoção da saúde e do bem-estar no trabalho. No entanto, a implementação dessas práticas deve respeitar a diversidade religiosa e filosófica dos colaboradores, garantindo ambientes inclusivos e éticos. Programas de meditação, rodas de escuta, espaços de silêncio e ações baseadas em valores humanos universais podem ser caminhos promissores, desde que não instrumentalizados nem impostos.

Como contribuição teórica, este estudo reforça a necessidade de consolidar a espiritualidade no trabalho como um constructo multidimensional, conectado a abordagens contemporâneas de bem-estar no trabalho. Para futuras pesquisas, recomenda-se o desenvolvimento de estudos longitudinais, investigações qualitativas aprofundadas e análises comparativas entre diferentes contextos culturais e setoriais. Também se destaca a importância de explorar o papel mediador de variáveis como gratidão, resiliência, inteligência emocional e liderança ética na relação entre espiritualidade e bem-estar no trabalho.

Embora os resultados contribuam para a compreensão da relação entre espiritualidade e bem-estar no trabalho, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem a análise para outras bases de dados e diferentes contextos culturais, de modo a aprofundar a compreensão desse fenômeno em distintas realidades organizacionais.

Em síntese, esta RSL contribui para a ampliação do debate sobre a integração entre espiritualidade e bem-estar no trabalho oferecendo fundamentos para que organizações desenvolvam ambientes mais humanos, significativos e sustentáveis.

Referências

ADNAN, N.; BHATTI, O. K.; FAROOQ, W. Relating ethical leadership with work engagement: how workplace spirituality mediates? **Cogent Business & Management**, v. 7, n. 1, art. 1739494, 2020. DOI: 10.1080/23311975.2020.1739494.

AHMED, R. R.; SOOMRO, F. A.; CHANNAR, Z. A.; ALHARTHI, R. H. E.; SOOMRO, H. A.; PAHI, M. H.; SALLEH, N. Z. M. Relationship between different dimensions of workplace spirituality and psychological well-being: measuring mediation analysis through conditional process modeling. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 18, art. 11244, 2022. DOI: 10.3390/ijerph191811244.

ALBORNOZ, S. G. O que é trabalho? São Paulo: Brasiliense, 2014.

- ALRUWAYTI, H. A.; SULPHEY, M. M. Workplace spirituality, mindfulness, and subjective well-being as predictors of task performance: an empirical study in Saudi Arabia. **Journal of Positive Psychology and Wellbeing**, v. 7, n. 1, p. 184-199, 2023.
- BAYIGHOMOG, S. W.; ARASLI, H. Workplace spirituality-customer engagement nexus: the mediated role of spiritual leadership on customer-oriented boundary-spanning behaviors. **The Service Industries Journal**, v. 39, n. 7-8, p. 637-661, 2019. DOI: 10.1080/02642069.2018.1563288.
- CARDOSO, R. L.; SANTOS, G. M. C. Espiritualidade e desempenho no trabalho: A influência da espiritualidade no trabalho sobre o desempenho individual. **Revista Gestão & Planejamento**, 17(3), 457–472, 2016.
- CHIRICO, F.; D’AMICO, D.; MAGNAVITA, N. Spiritual well-being and burnout syndrome in healthcare: A systematic review. **Journal of Health and Social Sciences**, 9(2), 279–293, 2023. DOI: 10.19204/2024/SPRT8.
- CHONGVISAL, R. Development and outcome of workplace spirituality: an empirical study in Thailand. **Kasetsart Journal of Social Sciences**, v. 44, n. 4, 2023. DOI: 10.34044/j.kjss.2023.44.4.24.
- DE CARLO, A.; DAL CORSO, L.; CARLUCCIO, F.; COLLEDANI, D.; FALCO, A. Positive supervisor behaviors and employee performance: the serial mediation of workplace spirituality and work engagement. **Frontiers in Psychology**, v. 11, art. 1834, 2020. DOI: 10.3389/fpsyg.2020.01834
- FARIA, A.M.; MARQUES, N.S.; PEDROSO, M.C.; SBRAGIA, R.; JR. OLIVEIRA, M.M. Inovação em modelo de negócios: uma análise da literatura. ALTEC 2017, México. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002860884>
- FOSTER, S.; FOSTER, A. The impact of workplace spirituality on work-based learners: individual and organisational level perspectives. **Journal of Work-Applied Management**, v. 11, n. 1, p. 63–75, 2019. DOI: 10.1108/JWAM-06-2018-0015
- HASSAN, S.; ANSARI, N.; REHMAN, A. An exploratory study of workplace spirituality and employee well-being affecting public service motivation: an institutional perspective. **International Journal of Public Administration**, v. 45, n. 15, p. 1175–1189, 2022. DOI: 10.1080/01900692.2021.1903494.
- HASSAN, S.; ANSARI, N.; REHMAN, A. Public service motivation, workplace spirituality and employee well-being: a holistic approach. **Journal of Economic and Administrative Sciences**, v. 39, n. 4, p. 1027-1043, 2023. DOI: 10.1108/JEAS-05-2020-0072.
- HUNSAKER, W. D. Spiritual leadership and job burnout: mediating effects of employee well-being and life satisfaction. **Management Science Letters**, v. 9, n. 8, p. 1257-1268, 2019. DOI: 10.5267/j.msl.2019.4.016.
- HUNSAKER, W. D.; DING, W. Workplace spirituality and innovative work behavior: the role of employee flourishing and workplace satisfaction. **Employee Relations**, v. 44, n. 6, p. 1355-1371, 2022. DOI: 10.1108/ER-01-2021-0032.
- KOBURTAY, T.; AGAG, G.; EID, R. Religion, spirituality and well-being: A systematic literature review and research agenda. **Business Ethics, the Environment & Responsibility**, 31(1), 343–363, 2021. DOI: 10.1111/beer.12393
- KOBURTAY, T.; JAMALI, D.; ALJAFARI, A. Religion, spirituality, and well-being: a systematic literature review and futuristic agenda. **Business Ethics, the Environment & Responsibility**, v. 32, n. 1, p. 341-357, 2023. DOI: 10.1111/beer.12478.
- LATA, M.; CHAUDHARY, R. Workplace spirituality and experienced incivility at work: modeling Dark Triad as a moderator. **Journal of Business Ethics**, v. 174, n. 3, p. 645-667, 2021. DOI: 10.1007/s10551-020-04617-y.
- LHUILIER, D. Trabalho. **Psicologia & Sociedade**, 25(3), 483–492, 2023.
- MAKKAOUI, M.; HANNOUN, F.-Z.; OUAZIZI, K.; et al. Spirituality as predictor of psychological well-being at work in the Moroccan context: a cross-sectional study. **Journal of Health and Social Sciences**, v. 9, n. 2, p. 279-293, 2024. DOI: 10.19204/2024/SPRT8.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; Hoffmann, T. C.; MULROW, C. D.; MOHER, D. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** *BMJ*, 372, n71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71

PRADHAN, R. K.; JANDU, K.; SAMAL, J.; PATNAIK, J. B. **Does practicing spirituality at workplace make teachers more engaged?** Examining the role of emotional intelligence. 2023.

RAJNI, G. N.; JALAN, S. Spiritual leadership research: Past, present and future using bibliometric analysis. *Journal of Religion and Health*, 64, 999–1030, 2025. DOI: 10.1108/JWL-05-2023-0076

RAMASWAMY, M.; VISWANATHAN, R.; KANIYARKUZH, B. K.; NEELIYADATH, S. The moderating role of resonant leadership and workplace spirituality on the relationship between psychological distress and organizational commitment. *The International Journal of Human Resource Management*, 34(5), 855–877, 2023. DOI: 10.1080/09585192.2021.1916452.

ROSA, F.C.; GRECCO, M.C.P. Blockchain e smart contracts como ferramentas de gestão na tributação da prestação de serviços digitais. *Advances in Scientifica and Applied Accounting*. 13(1), 165-182, 2020. DOI: 10.14392/asaa.2020130108.

RYAN, R. M.; DECI, E. L. Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, v. 55, n. 1, p. 68-78, 2000. DOI: 10.1037/0003-066X.55.1.68.

SHELTON, C. D.; HEIN, S.; PHIPPS, K. A. Resilience and spirituality: a mixed methods exploration of executive stress. *International Journal of Organizational Analysis*, v. 28, n. 2, p. 399-416, 2020. DOI: 10.1108/IJOA-08-2019-1848.

SIRGY, M. J.; EFRATY, D.; SIEGEL, P.; LEE, D.-J. A new measure of quality of work life (QWL) based on need satisfaction and spillover theories. *Social Indicators Research*, 55(3), 241–302, 2001. DOI: 10.1023/A:1010986923468.

SODE, R.; CHENJI, K.; VIJAYARAGHAVAN, R. Exploring workplace spirituality, mindfulness, digital technology, and psychological well-being: a complex interplay in organizational contexts. *Acta Psychologica*, v. 251, art. 104601, 2024. DOI: 10.1016/j.actpsy.2024.104601.

VASCONCELOS, A. F. Individual spiritual capital: Meaning, a conceptual framework and implications. *Journal of Workplace Learning*, 32(1), 125–144, 2021.

WALTON, R. E. Quality of working life: What is it? *Sloan Management Review*, v. 15, n. 1, p. 11–21, 1973.

WILKE, N. G.; MEDEFIND, J.; HOWARD, A. H. Organization spiritual support, burnout, and well-being in child welfare settings. *Journal of Management, Spirituality & Religion*, v. 22, n. 7, 2025. DOI: 10.51327/BMHX9461.

ZOU, W.; ZENG, Y.; PENG, Q.; XIN, Y.; CHEN, J.; HOUGHTON, J. D. The influence of spiritual leadership on the subjective well-being of Chinese registered nurses. *Journal of Nursing Management*, v. 28, n. 6, p. 1432-1442, 2020. DOI: 10.1111/jonm.13106.

YOUSAF, U.; KHAN, M. F.; KHAN, I.; KHAN, M. Z.; DOGAR, M. N. Spiritually empowered leadership and workplace spirituality at Akhuwat foundation: a qualitative case study. *Qualitative Research in Financial Markets*, 2025. DOI: 10.1108/QRFM-04-2024-0103.

Inovação em serviços de clínicas oftalmológicas: o marketing digital como ferramenta para alcançar oportunidades nas redes sociais

Innovation in ophthalmology clinic services: digital marketing as a tool to seize opportunities on social media

Administração

Ayohana Matias Silva (ayohanamatias@gmail.com)

Graduada em Administração pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Bárbara Kelly Rodrigues da Silva (bahrodrigues_kelly@hotmail.com)

Graduada em Administração pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Nicolle Lustoza Abreu (nicollelusabreu@gmail.com)

Graduada em Administração pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Suelma Santos do Carmo (suelma1784@gmail.com)

Graduada em Administração pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Leandro Rodrigues da Silva (pro14753@cefsa.edu.br)

Mestre em Administração pelo Centro Universitário FEI e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026

• ISSN 2525-8729

Submissão: 23 jun. 2025 Aceitação: 22 maio 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 27 - p. 59

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

O número de oftalmologistas no Brasil é considerado alto, porém, a relação de especialistas por habitante varia entre os estados. Essa distribuição desigual e a rigidez das normas do Conselho Federal de Medicina (CFM) limitam a atuação desses profissionais nas redes sociais. Tendo em vista que o avanço tecnológico modifica a forma de comunicação, interação, relacionamento e a busca e prestação de serviços, este artigo teve como objetivo analisar a utilização do Marketing Digital como ferramenta para a inovação de serviços em clínicas oftalmológicas de modo a alcançar oportunidades nas redes sociais. A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, de caráter exploratório e natureza quantitativa e qualitativa, por meio da aplicação de questionário, via *Microsoft Forms*, entrevistas e estudos de caso. O público-alvo foram médicos oftalmologistas da região de São Paulo e do Grande ABC Paulista. Os resultados apontaram que os profissionais reconhecem o potencial do Marketing Digital, mas enfrentam dificuldades na implementação e manutenção de sua presença *on-line*. Assim, têm investido no relacionamento com os clientes e acreditam que a inovação de serviços pode contribuir positivamente para essa nova tendência. O estudo também propõe uma metodologia para promover inovação em serviços e ampliar oportunidades nas redes sociais, ressaltando a importância de estratégias de marketing para fidelizar pacientes e destacar clínicas em um mercado competitivo

Palavras-chave: Marketing Digital. Marketing em Saúde. Redes Sociais. Inovação de Serviços.

Abstract

The number of ophthalmologists in Brazil is considered high, however, the ratio of specialists per inhabitant varies between states. This unequal distribution and the rigidity of the Federal Council of Medicine (FCM) rules limit the performance of these professionals on social media. Considering that technological advances change the way we communicate, interact, relate, and search for and provide services, this article aimed to analyze the use of Digital Marketing as a tool for service innovation in ophthalmology clinics to achieve opportunities on social networks. The methodology used was bibliographic research, of an exploratory nature and quantitative and qualitative nature, through the application of a questionnaire, via *Microsoft Forms*, interviews and case studies. The target audience was ophthalmologists from the region of São Paulo and Greater ABC Paulista. The results showed that professionals recognize the potential of Digital Marketing, but face difficulties in implementing and maintaining an *on-line* presence. Thus, they have invested in customer relationships and believe that service innovation can contribute positively to this. The study also proposes a methodology to promote innovation in services and expand opportunities on social networks, highlighting the importance of marketing strategies to build patient loyalty and make clinics stand out in a competitive market.

Keywords: Digital Marketing. Health Marketing. Social Networks. Service Innovation.

Introdução

A Demografia Médica de 2024, divulgada pelo Conselho Federal de Medicina (CFM), revela o crescimento significativo do número de médicos no Brasil nos últimos anos: são agora 575.930 médicos ativos no país, o que representa uma proporção recorde de 2,81 médicos por mil habitantes. Esses dados demonstram uma tendência constante de expansão do setor da saúde, o qual é acompanhado por um crescimento específico em várias especialidades médicas (CFM, 2024). Por sua vez, o Censo 2021, elaborado pelo Conselho Brasileiro de Oftalmologia (CBO), destaca a oftalmologia como a nona especialidade médica com maior número de profissionais, registrando um aumento de 112% em 10 anos. O referido Censo também aponta que o Brasil conta atualmente com cerca de 20.000 oftalmologistas no território nacional, o que corresponde a um profissional para cada 17.000 habitantes, destacando, dessa maneira, a importância dessa especialidade no panorama geral da medicina no país (Umbelino; Ávila, 2021).

Embora o número de oftalmologistas no Brasil seja considerado relativamente alto, a relação de especialistas por habitante ainda varia entre os estados. Segundo o último levantamento presente no Censo de 2021, a região Sudeste apresenta uma taxa de cobertura relativa de um médico oftalmologista para 4.769 habitantes, sendo que, no estado de São Paulo, há um médico oftalmologista para 4.252 habitantes e, em São Bernardo do Campo, cidade estudada na pesquisa, considera-se um médico dessa especialidade para 3.519 habitantes. Entretanto, a região Norte do Brasil apresenta uma baixa taxa de cobertura quando comparada às demais regiões, com um médico oftalmologista para 14.773 habitantes, com destaque para os estados do Acre, Amapá e Pará (Umbelino; Ávila, 2021; CFM, 2024).

Desse modo, é evidente que as discussões oftalmológicas e a atuação de seus profissionais são relevantes na área da saúde brasileira. Contudo, os pontos mais desafiadores para a expansão das atividades desses médicos no país podem ser a falta de conhecimento em marketing médico, ocasionada pela lacuna no preparo desses profissionais nas instituições de ensino superior de medicina, bem como o a exigência das normas regulamentadoras estabelecidas pelo CFM no que se refere à realização de publicidade e propaganda médicas. Por serem bastante rígidas, essas normas podem limitar a atuação dos médicos nas plataformas digitais e, portanto, o alcance e o sucesso de suas empreitadas (Alves *et al.*, 2012; CFM, 2024; Silva *et al.*, 2024).

Nesse sentido, a importância do marketing médico para a longevidade de uma carreira em medicina é uma discussão que adquiriu protagonismo mais recentemente, com o impacto das redes sociais no modo

de vida das pessoas. Isso ocorre porque o avanço da tecnologia costuma ser acompanhado de um impacto direto e irreversível na sociedade, influenciando diretamente a cultura, a política e a economia (França, 2024).

É notório que, no que se refere às redes sociais, o uso desenfreado dessas plataformas as tornou o principal canal de comunicação do mundo atual, afetando não somente a maneira como as pessoas se relacionam, mas, principalmente, no contexto da área médica, o modo como os pacientes buscam serviços de saúde. Isso torna a criação de um perfil *on-line* quase indispensável para se ter uma carreira de sucesso nessa profissão (Lima, 2019; Carvalho, 2024).

Sendo assim, dentre os papéis assumidos pelas redes sociais na mediação da relação entre médico e paciente, destaca-se a transmissão de informações de caráter técnico de saúde com o objetivo de cultivar o bem-estar do público de maneira mais acessível (CFM, 2024; Giacometti *et al.*, 2024).

Diante da necessidade de os profissionais médicos se manterem atualizados no uso das tendências tecnológicas, seja para se conectarem com seus pacientes além do consultório ou para promoverem a saúde em diferentes contextos, de modo a se destacarem de seus concorrentes, o investimento em marketing tornou-se uma prioridade obrigatória para os negócios do setor da saúde. Ele permite que o médico se torne, sobretudo, uma referência importante sobre os assuntos de sua especialidade e, a partir disso, expanda sua empresa (Tiné, 2024). Dessa forma, a pergunta que norteia este trabalho de pesquisa é: “Como o marketing digital pode promover inovação de serviços em clínicas oftalmológicas?”

O objetivo geral da pesquisa é analisar a utilização do marketing digital como ferramenta para se alcançar inovação em serviços oftalmológicos, buscando atingir os seguintes objetivos específicos: a) identificar no estudo de caso os desafios enfrentados pela médica proprietária na implementação e utilização do marketing digital nas redes sociais para a promoção de sua clínica oftalmológica; b) mapear as estratégias de marketing que contribuam para o alcance de novos clientes; c) propor uma metodologia para promover a inovação em serviços em clínicas oftalmológicas.

A oftalmologia exerce um papel importante no quadro geral da saúde brasileira e tem registrado um aumento no número de profissionais, conforme aponta o Censo 2021 do CBO (Umbelino; Ávila, 2021). No entanto, a distribuição desses especialistas ainda é desigual entre as regiões do país. Além disso, o setor

da saúde enfrenta desafios relacionados à falta de conhecimento sobre estratégias eficazes de marketing digital e à rigidez das normas impostas pelo CFM, que dificultam a atuação dos profissionais nas plataformas digitais. Somado a isso, o avanço das tecnologias e a crescente influência das redes sociais na procura por serviços de saúde tornam imprescindível que os médicos se adaptem às inovações tecnológicas. O uso de estratégias eficazes de marketing digital é essencial para manter a competitividade, atrair e fidelizar pacientes (Alves *et al.*, 2022; Umbelino, 2023). Portanto, esta pesquisa busca explorar como o marketing digital pode transformar os serviços oferecidos por clínicas oftalmológicas, ressaltando sua relevância na ampliação do exercício da medicina. O estudo também visa desenvolver uma metodologia aplicável para promover a inovação nos serviços oftalmológicos, fornecendo aos profissionais da área ferramentas práticas para otimizar suas estratégias de marketing, com o intuito de se destacar em um mercado cada vez mais competitivo.

No que tange à estrutura do artigo, a presente pesquisa é dividida em cinco seções. A introdução apresenta o cenário da pesquisa, a pergunta norteadora, o objetivo geral e os objetivos específicos, bem como a justificativa do estudo. O referencial teórico aborda os principais conceitos sobre inovação em serviços, marketing digital, marketing de relacionamento na área da saúde, as principais redes sociais e sua correlação com a área de estudo. Em seguida, é especificada a metodologia utilizada, sendo ela uma pesquisa aplicada, com objetivo exploratório, abordagem qualitativa e quantitativa, e coleta de dados por meio de revisão da literatura, entrevistas, questionários e estudos de caso. Na seção de resultados e discussões, são apresentados os resultados das aplicações realizadas, com o detalhamento dos pontos mais relevantes coletados e o estudo de caso empregado, destacando as principais percepções. Por fim, são apresentadas as considerações finais, com a indicação das limitações, bem como as contribuições sociais, teóricas e práticas da pesquisa em relação ao impacto e à criação de oportunidades nas redes sociais, por meio da aplicação das ferramentas de marketing digital em clínicas oftalmológicas.

Referencial teórico

Inovação em serviços

O termo "inovação", ao longo do último século, ganhou ainda mais notoriedade, estabelecendo valor intrínseco à sociedade e aos negócios. O conceito, de maneira geral, é definido como a criação de novas realidades, a introdução de um novo bem ou método e, também, pode ser compreendido como um grande conjunto de ações que visam à reestruturação de um bem ou à introdução de novos incrementos

em processos já existentes (Schumpeter, 1997; OCDE, 2006; Plonski, 2017; Dias, 2023; Cardoso *et al.*, 2024).

Considerando a pluralidade no seu desenvolvimento, a inovação também traz consigo a ideia de transformação tanto na construção quanto na aplicação, tendo como objetivo principal assumir novos significados para algo já existente. É a força propulsora que permite não apenas a sobrevivência de uma organização, mas também a integração de subprocessos com vistas ao alcance das metas (Myers; Marquis, 1969; Schumpeter, 1997; Godin, 2015; Plonski, 2017; Cardoso *et al.*, 2024).

Sendo assim, a inovação em serviços não apenas aplica Tecnologias da Informação, mas, principalmente, investe em métodos e proporciona o desenvolvimento de competências em todo o negócio e nas estratégias que envolvem marketing e atração (Den Hertog; Bilderbeek, 1999; Tidd; Bessant, 2015; Garcia *et al.*, 2023).

Atrelada às mudanças de comportamento do consumidor, a inovação em serviços também é influenciada pela construção de soluções que resolvam problemas do cliente. Não obstante, pode ser pautada na incerteza e motivada por fatores internos, como o planejamento estratégico da organização e as metas estabelecidas por ela, ou por fatores externos, como a volatilidade do mercado, seja em novas tecnologias, seja nas relações estabelecidas no segmento em que atua (Gallouj; Weinstein, 1997; Barata, 2011; Tidd; Bessant, 2015; Santo *et al.*, 2023).

Dessa maneira, a inovação beneficia as organizações ao agregar valor e notoriedade ao serviço prestado ao cliente, em conjunto com a melhoria de processos internos e o investimento em desenvolvimento (o que também promove a colaboração interna), determinando, assim, a diferenciação frente aos concorrentes do segmento (Porter, 1998; Osterwalder; Pigneur, 2010; Tidd; Bessant, 2015; Vargas *et al.*, 2023).

Assim sendo, a inovação em serviços assume papel contínuo e incremental nas organizações, principalmente naquelas cuja essência depende do atendimento às necessidades do cliente final, como ocorre na área da saúde, em que a satisfação do cliente é centralizada na solução de problemas que o atingem diretamente (Djellal; Gallouj, 2005; OCDE, 2006; Gustafsson *et al.*, 2020).

Posto isso, o desenvolvimento de estratégias, incrementos e melhorias alinhados às expectativas dos clientes na área da saúde levam à obtenção de vantagens competitivas frente aos concorrentes, seja em tecnologia (como nos casos de melhores equipamentos para análises médicas), seja na proximidade e no

relacionamento com o cliente, promovendo a prevenção e a disseminação de informações de bem-estar (Porter, 1998; Den Hertog; Bilderbeek, 1999; Djellal; Gallouj, 2005; Tigre; Pinheiro, 2019; Wu *et al.*, 2022).

Vinculada a isso, a inovação em serviços na área da saúde, quando aplicada por meio de ferramentas específicas, proporciona diferentes formas e escopos de inovação nas organizações (Tigre; Pinheiro, 2019). Uma das ferramentas conhecidas é o Radar da Inovação, que apresenta diversas dimensões e permite investigar tanto os pontos fortes da empresa quanto identificar oportunidades de inovação no escopo de suas atividades (Sawhney *et al.*, 2007; Correia; Gonçalves, 2022; Pereira *et al.*, 2024). O Radar da Inovação é composto por 12 dimensões, conforme ilustrado na figura 1:

Figura 1 – As 12 dimensões da inovação.



Fonte: adaptada de Sawhney *et al.* (2007, p. 77)

Dessa forma, cada linha representa uma dimensão que abrange a organização como um todo. Quatro dimensões-chave são consideradas como base para as demais, sendo elas: (a) Oferta, (b) Clientes, (c) Processos e (d) Presença. Essas dimensões permitem uma visão ampla e sistemática de como a empresa pode direcionar ou inovar em seus produtos ou serviços (Sawhney *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2024).

O Quadro 1 apresenta a definição de cada uma das dimensões propostas pelo Radar da Inovação, de acordo com Sawhney *et al.* (2007), Bachmann (2015) e Pereira *et al.* (2024).

Quadro 1 – As 12 dimensões do Radar da Inovação.

Dimensão	Definição
Oferta	Produto ou serviços ofertados pela empresa ao mercado
Plataforma	Infraestrutura - Métodos de oferta dos produtos ou serviços
Soluções	Combinações de produtos e/ou serviços diversificadas para resolver o problema do cliente
Clientes	Conjunto de pessoas em busca de produtos ou serviços que solucionem um problema ou atendam a uma necessidade
Experiência do cliente	Conjunto de estruturas e mecanismos que aproximam o cliente na marca
Valor agregado	Atitudes que envolvem a organização para criar uma melhor percepção para o cliente sobre a marca dentro de seus produtos e serviços
Processos	Atividades cotidianas que se apoiam na transformação e no atendimento de um produto ou serviço
Organização	Estrutura da empresa com os papéis de cada colaborador
Cadeia de suprimentos	Aspectos logísticos de atendimento à solicitação do cliente
Presença	Canais de distribuição utilizados pela empresa
Redes de contatos	Conexão da empresa aos seus produtos e aos clientes
Marca	Identidade visual que transmite a imagem da organização aos clientes

Fonte: adaptado de Sawhney *et al.* (2007); Bachmann (2015); Pereira *et al.* (2024).

Areladas ao conceito, as dimensões de: (i) experiência do cliente, (ii) rede de contatos, (iii) soluções e (iv) valor agregado, quando combinadas com uma estrutura ou ferramenta de inovação em serviços, possibilitam o aumento no relacionamento e no engajamento com o cliente. Isso pode ocorrer, por exemplo, por meio de mídias sociais, que contribuem continuamente para a melhoria estrutural das ofertas e promovem a coparticipação no desenvolvimento de novos processos na companhia, por meio da opinião de quem os consome (Bachmann, 2015; Uratnik, 2016; Wu *et al.*, 2022).

Marketing digital

Com o surgimento da Covid-19, a vida das pessoas foi transformada radicalmente de diversas maneiras: as formas de trabalhar, o convívio social e os hábitos diários mudaram completamente. Diante desse cenário, o marketing digital enxergou a oportunidade de ajudar as organizações a impulsionar seu crescimento, desenvolver seus produtos e serviços e criar um vínculo mais próximo com seus pacientes

por meio dos negócios na internet. Além disso, o marketing digital é uma ferramenta cada vez mais utilizada com os objetivos de atrair novos negócios, aumentar a visibilidade e expandir a marca da organização (Oliveira, 2023).

Com o aumento do acesso à internet e o surgimento de novas plataformas, é essencial que as empresas tenham suas estratégias adequadas às necessidades do mercado e alinhadas à revolução digital. Para tanto, é necessário compreender que as ferramentas do marketing são indispensáveis para a sociedade e que, quando utilizadas de forma eficaz, promovem comunicação assertiva, conectam pessoas, aumentam a visibilidade da marca e melhoram os resultados das empresas. Essas ferramentas também auxiliam as empresas a entenderem seu público-alvo, entregando produtos e serviços de acordo com as necessidades e desejos de cada cliente, o que, conseqüentemente, concede vantagem competitiva (Ladislau *et al.*, 2023).

A internet é o meio pelo qual as ferramentas de marketing digital são empregadas. Independentemente do segmento, produto ou serviço ofertado; a maior parte dos clientes das empresas está presente em plataformas digitais e mídias sociais. Dessa forma, o planejamento estratégico das organizações considera a internet intrinsecamente em seus objetivos, a fim de criar maneiras de otimizar os recursos disponíveis e aprimorar a utilização das ferramentas de marketing mais adequadas ao mercado de atuação, promovendo conteúdos voltados ao público-alvo e, assim, aumentando a conexão e o engajamento nas redes sociais (Torres, 2009; Ryan, 2014; Cabral, 2020; Giacometti, 2020; Gabriel; Kiso, 2020).

Para implementar ações de marketing digital eficazes, é necessário definir quais estratégias digitais serão utilizadas para atingir os objetivos e o público-alvo. O marketing abrange diferentes estratégias, sendo que cada uma pode impactar as demais. Ou seja, não se pode considerá-las de forma independente, pois, muitas vezes, é difícil separá-las (Torres, 2009; Gabriel, 2010). As estratégias de marketing podem originar-se a partir das plataformas ou tecnologias digitais. O Quadro 2 apresenta exemplos de estratégias e das plataformas ou tecnologias associadas (Gabriel; Kiso, 2020).

Quadro 2 – As estratégias que podem ser geradas a partir das plataformas e tecnologias

Tecnologias	Conceito	Estratégia
Páginas digitais	Podem ser classificadas em: <i>sites</i> , minisites, <i>hotsites</i> , portais, <i>blogs</i> , perfis em redes sociais e <i>landing pages</i>	Presença digital (Ter a presença é tão importante quanto o próprio negócio)
Redes Sociais	Proporcionam a conexão de amigos, familiares e consumidores através da internet. Exemplos de redes sociais: <i>Facebook</i> , <i>Instagram</i> , <i>TikTok</i> , <i>X</i> e <i>Linkedin</i>	
E-mail	Conta com a divulgação de <i>Newsletters</i> que podem ser elaborados por meio de conteúdo que tem(tendo) por objetivo convencer o leitor a ter(adotar) determinada ação	Marketing de Conteúdo (Estabelecer conteúdo atrativo e relevante com valor agregado para alcançar o público-alvo)
Plataforma Digital de buscas (Google - Youtube)	Proporciona a busca de informações que os usuários desejam, no ambiente digital	
		Search Engine Marketing (SEM) (Importante para realizar a atração de Leads)

Fonte: elaborado pelos autores, de acordo com Gabriel, Kiso (2020)

Dentro do conceito de marketing digital, destaca-se o marketing de conteúdo, uma estratégia capaz de transmitir informações importantes para o cliente sobre um produto ou serviço de forma atrativa. Essa estratégia proporciona uma experiência valiosa para os clientes por meio de conteúdos compartilháveis, informando sobre a marca, aumentando a percepção de valor e auxiliando os clientes a compreenderem, por si mesmos, que determinado produto ou serviço atenderá suas expectativas, necessidades e desejos (Pulizzi, 2013; Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017; Molina; Molina, 2022).

A produção de conteúdo é um desafio que envolve do processo de criação à divulgação. Para isso, os profissionais de marketing devem desenvolver uma estratégia capaz de proporcionar informações relevantes (Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017; Peçanha, 2017; Molina; Molina, 2022), respeitando todas as etapas, como as oito definidas para o marketing de conteúdo (Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017). A figura 2 apresenta cada uma dessas etapas:

Figura 2 – Etapas do marketing de conteúdo



Fonte: adaptada de Kotler, Kartajaya e Setiawan (2017, p. 152)

Para criar um conteúdo bem estruturado e alcançar os resultados desejados, é fundamental seguir um passo a passo que comece com a definição dos objetivos e metas. Em seguida, deve-se identificar o público-alvo e descrever suas personas, garantindo que o conteúdo esteja alinhado às necessidades desses indivíduos. O criador de conteúdo deve ter em mente que esse é um processo contínuo e que, se a empresa não dispuser de recursos internos, a terceirização é uma opção viável.

É essencial, ainda, que o conteúdo alcance o público pretendido, utilizando mídia própria, paga e orgânica para sua disseminação. Para ampliar o alcance, parcerias com influenciadores alinhados ao público-alvo podem ser benéficas. Após a distribuição, é crucial avaliar se as metas foram alcançadas e analisar o desempenho do conteúdo para identificar oportunidades de melhoria. Embora a produção e a distribuição sejam etapas importantes, as atividades de pré-produção e pós-distribuição também são indispensáveis (Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017).

Marketing de relacionamento na área da saúde

O marketing pode ser definido como o ato de gerar lucro por meio do suprimento de necessidades e está relacionado, portanto, ao reconhecimento e à satisfação de necessidades humanas e sociais (Kotler; Keller, 2018). O marketing médico digital, por sua vez, é um tema em ascensão e pode ser entendido como

um conjunto de ações integradas e planejamentos estratégicos que buscam identificar as necessidades dos pacientes e as oportunidades do mercado, com a finalidade de agregar valor ao exercício da medicina (Purim *et al.*, 2022).

No entanto, com o surgimento da Covid-19, diversos desafios afetaram diretamente as estratégias de marketing de muitos consultórios médicos, inclusive os oftalmológicos, como mudanças no comportamento dos pacientes, crescimento de serviços *on-line*, inovações em serviços, problemas na comunicação, informações e incertezas econômicas (Sousa *et al.*, 2024).

Diante desse contexto, a Revolução Digital criou uma tendência marcante nas relações humanas: cada vez mais pessoas conectam-se por meio de ferramentas digitais, como internet, e-mail, aplicativos e redes sociais. Com isso, surge a oportunidade de criar relacionamentos mais duradouros fora dos consultórios (Radu *et al.*, 2017).

O marketing de relacionamento é uma estratégia abrangente que pode ser utilizada tanto para atrair e fidelizar novos pacientes quanto para manter a comunicação e o desempenho interno das equipes nas organizações. A estratégia de relacionamento permite promover a disseminação da marca por meio da satisfação e fidelização dos pacientes, com compartilhamentos nas redes sociais, propaganda boca a boca e avaliações positivas (Ladislau *et al.*, 2023).

Sendo assim, a necessidade do marketing para os profissionais da saúde é evidente, pois ele possibilita não apenas a identificação e a compreensão das necessidades e dos desejos dos pacientes, mas também rompe barreiras de distância e atrai clientes a qualquer momento e de qualquer lugar (Radu *et al.*, 2017). Além disso, estabelece conexões entre clientes e empresas por meio da criação de valor e benefícios compartilhados ao longo desse relacionamento (Ladislau *et al.*, 2023).

Entretanto, a realização de publicidade e propaganda médicas, a princípio, não é tarefa fácil. Nesse sentido, o primeiro Código de Ética Médica (CEM), criado em 1929, já impunha padrões éticos extremamente limitadores, ao estabelecer que anunciar ou publicar informações para promover a si mesmo seria considerado um “ato contrário à honradez profissional” (Campista, 1929).

Em 2011, o **Manual de Publicidade Médica** (MPM) foi criado pela Comissão de Divulgação de Assuntos Médicos (CODAME). As resoluções normativas presentes no documento, juntamente com as do Conselho Federal de Medicina, têm como objetivos regulamentar, orientar e fiscalizar atividades no cenário da medicina, de forma a evitar concorrência desleal, sensacionalismo e autopromoção (CREMESP, 2024).

Em 2018, foi promulgada a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) nº 13.709/2018 (Brasil, 2018), que trata os dados pessoais dos pacientes como sensíveis e sujeitos a sigilo médico, determinando que seu uso só pode ocorrer mediante autorização do titular ou responsável (Purim *et al.*, 2022).

Ademais, as normas do **Manual de Publicidade Médica** (MPM) passaram por revisão e atualização pelo CFM em 2023. A nova regulamentação permite que médicos divulguem seu trabalho em mídias sociais como *blogs, sites, WhatsApp, Facebook e Instagram*, anunciem aparelhagens e recursos tecnológicos aprovados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e, em caráter educativo, utilizem fotografias ou vídeos mostrando o ambiente de trabalho, bem como imagens de pacientes com comparações de “antes e depois” (CFM, 2024). Para isso, é necessário que as imagens não sofram alterações, sejam autorizadas pelo paciente e não revelem sua identidade (Vieira *et al.*, 2023).

Contudo, ainda é notória a falta de conhecimento dos estudantes de Medicina sobre “publicidade médica”. Cerca de 60,5% deles não tiveram esse tema abordado em sua grade curricular, o que sugere despreparo para acompanhar a rápida expansão das mídias sociais e suas implicações na relação médico-paciente no meio virtual. Esse cenário pode impactar negativamente o crescimento profissional desses estudantes (Schmidt *et al.*, 2021).

Portanto, a orientação desses alunos no meio acadêmico, quanto às normas do **Manual de Publicidade Médica** e ao exercício ético do marketing digital, é cada vez mais essencial. Essa formação atende às demandas emergentes de profissionais inseridos em um mercado de trabalho profundamente marcado pela divulgação *on-line* de perfis, além de suprir as expectativas de um público que utiliza intensamente redes sociais e se beneficia da disseminação de informações nessas plataformas (Castro *et al.*, 2022).

Em resumo, com todas as mudanças decorrentes do avanço tecnológico, os clientes continuam buscando profissionais que ofereçam produtos e serviços com valor agregado. Isso evidencia a importância de se utilizar os princípios do marketing para entender o público-alvo, suas necessidades e desejos, com o

objetivo de promover a diferenciação dos serviços e produtos ofertados, aumentar a visibilidade da marca, consolidar o posicionamento no mercado e gerar vantagem competitiva (Alves *et al.*, 2022).

Redes sociais

Graças à expansão tecnológica ocorrida nos últimos anos, o uso das redes sociais tem influenciado significativamente o comportamento humano, especialmente no que se refere às formas de comunicação, interação e compartilhamento de interesses em comum. Nesse contexto, as redes sociais tornaram-se ferramentas indispensáveis no ambiente pessoal, social e profissional, à medida que seus usuários, cada vez mais exigentes, buscam informações antes de adquirir serviços ou produtos (Sampaio; Tavares, 2017).

Diante dessa revolução tecnológica, as redes sociais passaram a integrar os canais de atendimento aos clientes. Assim, organizações e consultórios médicos precisam aproveitar essas ferramentas para criar um vínculo de comunicação e relacionamento com seus consumidores. Isso pode levar a uma maior satisfação dos clientes atuais, funcionando como estratégia para atrair novos clientes e promover produtos e serviços (Sampaio; Tavares, 2017; Valle *et al.*, 2024).

Entre as principais plataformas de mídias sociais que auxiliam no crescimento dos negócios, destacam-se *Instagram*, *YouTube*, *WhatsApp* e mídias pagas. Quando associadas às estratégias de marketing, essas plataformas oferecem oportunidades para divulgar produtos ou serviços, alcançar o público-alvo, aumentar a lucratividade e contribuir para o sucesso organizacional a longo prazo (Las Casas, 2014; Volpato, 2021). Partindo dessa premissa, apresenta-se a seguir o Quadro 3, com a análise descritiva das principais redes sociais.

Quadro 3 – Comparativo entre as principais redes sociais (continua)

Rede Social	Características	Principais Objetivos	Vantagens para área da saúde
Instagram	Permite o compartilhamento de fotos e vídeos de curta duração, que podem ser editados e tratados pelo próprio usuário, além de possibilitar que o usuário curta e comente outras publicações e marque outras pessoas e a localização em suas postagens para a visualização de seus seguidores (Pellandra; Streck, 2017)	Educar os pacientes/seguidores sobre prevenção e dicas de saúde (Koay, <i>et al.</i> , 2021). Criar uma conexão direta com o público-alvo ou estabelecer comunicação com novos públicos por meio da divulgação de conteúdo interativo que possa ser relevante e atrativo para ambos (Costa, 2018; Silva, 2019)	A velocidade com que as informações são compartilhadas; agilidade na comunicação médico-paciente; alcance de um número maior de pacientes dentro do seu público-alvo (Costa, 2021)
Youtube	Maior e mais popular plataforma de criação e compartilhamento de vídeos na internet. Conta com mais de 2 bilhões de usuários ativos mensais e atualmente está presente em mais de 100 países (Nagumo <i>et al.</i> , 2020)	Conectar, disseminar conhecimento e entretenimento através da plataforma, onde os usuários, além de espectadores, também são os criadores de conteúdo (Costa, 2020)	Com a utilização dos dados de acesso dos usuários é possível identificar suas preferências, para criar conteúdos direcionados ao seu público-alvo, promovendo aumento da visibilidade da marca (Au-Yong-Oliveira <i>et al.</i> , 2020)
WhatsApp	Aplicativo que permite o compartilhamento de fotos, arquivos e chamadas de voz e vídeo (Gilpress, 2024; WhatsApp, 2024)	Promover a comunicação ampla e rápida em qualquer lugar do mundo (Gilpress, 2024; WhatsApp, 2024)	Gerenciar os atendimentos, utilizar de mensagens automáticas que criem conexão e manutenção de relacionamento com o cliente (WhatsApp, 2024)
Mídias pagas	Estratégia do Marketing Digital para disseminar determinado conteúdo, através da criação de anúncios e propagandas (Camacho, 2019)	Aumento da visibilidade da marca e das vendas; atrair novos clientes e proporcionar lucro às empresas (Camacho, 2019)	Através das plataformas, dentro das redes sociais como <i>Facebook Ads</i> , <i>Instagram Ads</i> , <i>Google Ads</i> , <i>LinkedIn Ads</i> ; a utilização de mídias pagas on-line, possibilita o aumento da vantagem competitiva e a visibilidade da marca com a criação de anúncios alinhados com o perfil e as buscas dos usuários (Gomes, 2022)

Fonte: elaboração dos autores (2024).

A utilização de redes sociais e o investimento em mídias pagas podem proporcionar às empresas o alcance financeiro desejado e aumentar a visibilidade de suas marcas. No entanto, para que os resultados sejam satisfatórios, é necessário desenvolver estratégias de marketing eficazes, capazes de atrair clientes por meio de anúncios e propagandas bem planejados. É importante observar que muitos usuários tendem a perder o interesse em anúncios longos. Nesse aspecto, as organizações precisam definir estratégias de

diferenciação e posicionamento. Uma definição assertiva do posicionamento retém clientes, evitando que procurem a concorrência (Limeira, 2007).

Metodologia

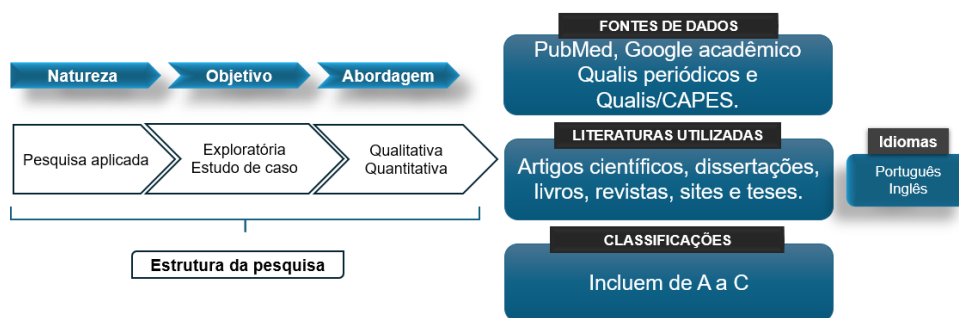
Este trabalho foi desenvolvido com base em pesquisa exploratória, utilizando abordagens quantitativa e qualitativa, norteadas por um estudo de caso por meio da quantificação e análise de dados e resultados (Gil, 2002).

Propõe-se, assim, levantar informações relevantes sobre o cenário investigado, empregando-se a pesquisa exploratória para mapear e compreender o fenômeno em questão. Esse tipo de pesquisa ocorre, geralmente, no início do processo, quando se tem o primeiro contato com um tema e se está definindo o recorte dos objetos (Pátaro; Oliva, 2017).

Nesse sentido, a pesquisa bibliográfica foi utilizada na fase exploratória, com o objetivo de explicar determinado problema a partir de referências teóricas previamente publicadas em dissertações, teses e, principalmente, em livros e artigos científicos. Tais materiais são utilizados pelo pesquisador para estabelecer contato com essas contribuições teóricas e guiar seu próprio trabalho. Contudo, é imprescindível que o pesquisador garanta a confiabilidade das fontes, analisando e observando criticamente o material (Gil, 2002; Cervo; Bervian; Silva, 2007; Menezes *et al.*, 2019).

A figura 3 apresenta os critérios e processos metodológicos aplicados no levantamento de dados da pesquisa. Para compreender o cenário investigado, serão aplicados questionários estruturados, compostos por um conjunto de perguntas sequenciais e lógicas acerca das variáveis que se deseja medir. Essa abordagem permite alcançar um número significativo de pessoas em determinado extrato social (Sá *et al.*, 2021; Bastos *et al.*, 2023):

Figura 3 – Critérios e processos metodológicos para a coleta de dados



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Além disso, foram realizadas entrevistas com profissionais da área da saúde, com o objetivo de investigar e compreender a percepção médica em relação à atração e retenção de pacientes, bem como a forma de comunicação e relacionamento com eles. A estrutura das entrevistas foi semiestruturada, contendo perguntas norteadoras, mas permitindo a formulação de questões adicionais, proporcionando liberdade para a espontaneidade e direcionamentos específicos a cada entrevistado (Blandford, 2013; Leitão; Prates, 2017; Castro; Oliveira, 2022).

Ambos os levantamentos são analisados com base em critérios qualitativos e quantitativos, buscando compreender a óptica dos objetos de estudo em seus mundos objetivo e subjetivo, gerando, assim, conhecimento segundo a visão dos entrevistados. Contudo, no que tange às entrevistas médicas, os pesquisadores não quantificaram os valores e interações, uma vez que os dados a serem analisados não são métricos (Vargas; Santos, 2018; Taquette; Borges, 2020).

O método de abordagem utilizado foi o estudo de caso, que visa investigar e compreender fenômenos complexos em seu cenário real e em profundidade. Isso é realizado por meio da coleta de dados concretos, preservando características holísticas e separando o essencial do menos significativo. Estudos de caso são adequados para responder a perguntas como: “qual?”, “como?” e “por quê?” (Eisenhardt, 1989; Yin, 2001).

No setor da saúde, o estudo de caso é apropriado para investigar iniciativas e inovações, explorando e entendendo as relações causais entre intervenções e resultados, bem como mapeando processos e trajetórias resultantes da implementação de novos serviços e políticas de desenvolvimento (Eisenhardt, 1989; Crowe *et al.*, 2011).

A coleta de dados foi realizada considerando-se as seguintes fontes: a proprietária e diretora da clínica oftalmológica estudada, os pacientes da clínica, grupos privados de médicos oftalmologistas no WhatsApp e médicos oftalmologistas proprietários de clínicas da mesma especialidade na região de São Bernardo do Campo – onde a clínica estudada se localiza – e em São Paulo.

O método utilizado para coletar dados junto aos profissionais de saúde foi um questionário *on-line*, com o intuito de compreender o cenário atual e a inserção do marketing digital na área. A plataforma escolhida foi o *Microsoft Forms*. Já para a proprietária da clínica, a coleta de dados ocorreu por meio de entrevista presencial.

A segunda entrevista foi realizada com outra médica oftalmologista, que já utiliza ferramentas de marketing digital em sua prática. A coleta de dados foi feita por meio de uma entrevista *on-line*, utilizando a plataforma *Google Meet*. O objetivo foi analisar a percepção dessa profissional sobre os avanços tecnológicos, o uso da internet e as publicações em redes sociais no contexto da saúde.

Quanto à análise de dados, foi utilizada a técnica da triangulação metodológica dos dados com o objetivo de ampliar o conhecimento em torno do objeto de pesquisa ao correlacionar os dados coletados a fim de contribuir não apenas para a validação como também para o enriquecimento da pesquisa aproximando o leitor da problemática, garantindo ao mesmo tempo a convergência e a complementação do cenário que envolve ao estudo. (Flick, 2013; Marcondes; Brisola, 2014; Zappelini; Feuerschütte, 2015).

Nesta pesquisa, foi utilizado também o *benchmarking* para analisar práticas de sucesso de agências de marketing médico. O *benchmarking* é um processo contínuo e estruturado, que avalia estratégias, serviços e processos de empresas reconhecidas por suas melhores práticas no setor, com vistas a melhorar o desempenho próprio (Spendolini, 1992; Kotler; Keller, 2018). Foram identificadas práticas eficazes, como o processo de *briefing*, planejamento de campanhas digitais, criação de conteúdo, gravação de vídeos em consultórios, comunicação com clientes e acompanhamento de *leads*, que foram adaptadas à clínica estudada.

Resultados e discussões

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos na pesquisa sobre o uso do marketing digital como ferramenta de inovação em serviços oftalmológicos. A coleta de dados envolveu entrevista semiestruturada com a médica estudada, entrevista on-line com outra oftalmologista para fins comparativos, questionário estruturado e análise de estudo de caso.

Os resultados estão divididos em duas partes. A primeira analisa como as ferramentas de marketing digital podem criar oportunidades em redes sociais para clínicas oftalmológicas, abordando os desafios enfrentados pela proprietária da clínica e por outros médicos da especialidade. A segunda parte apresenta a proposta de inovação aplicada ao estudo de caso.

A clínica estudada, localizada em São Bernardo do Campo, São Paulo, está em operação desde 1993 e oferece serviços especializados em oftalmologia. Administrada por uma médica proprietária, conta com uma equipe de quatro colaboradores: duas recepcionistas, uma gestora administrativa e uma auxiliar de limpeza.

A pesquisa revelou a inexistência de um departamento ou profissional específico para atividades de marketing na clínica. A disposição da proprietária em conduzir o estudo foi essencial para a execução da pesquisa. Os resultados também incluem a análise de dados de outros médicos oftalmologistas da região, proporcionando uma visão abrangente sobre o cenário do marketing na área médica.

Análise da utilização do marketing digital como ferramenta para inovação em serviços oftalmológicos

Com base nos resultados obtidos por meio de entrevista semiestruturada, entrevista on-line e questionários, identificou-se a ausência de um departamento ou de um profissional responsável pelo marketing digital no setor médico, tanto na clínica oftalmológica estudada quanto em outras da região. Os desafios levantados sugerem um cenário com grande potencial de crescimento, mas que enfrenta restrições e dificuldades para se adaptar a esse novo contexto. Esses dados fornecem *insights* valiosos a respeito do papel do marketing digital como ferramenta de inovação.

Os profissionais da saúde estão cada vez mais cientes da necessidade de se integrarem a um ambiente impulsionado pela tecnologia e pelo aumento do acesso à internet, haja vista que os pacientes buscam cada vez mais informações e serviços *on-line*, especialmente por meio das redes sociais. Torna-se essencial implementar estratégias de marketing digital eficazes para alcançar e engajar novos pacientes. Essa mudança de comportamento dos pacientes ressalta a urgência de estabelecer uma presença *on-line* robusta e sólida, fundamental para garantir a competitividade no setor.

Entretanto, os entrevistados apontaram dificuldades consideráveis, como normas rigorosas de publicidade e propaganda na área médica, que limitam as estratégias de marketing. Ademais, a falta de tempo e de conhecimento específico para se dedicar a essas atividades, bem como os altos custos associados à sua implementação, são barreiras significativas. Esses fatores impactam diretamente a motivação dos profissionais, podendo levar à sua desistência nessa área.

A inovação no uso do marketing digital deve ser entendida não apenas como a adoção de novas ferramentas, mas também como uma mudança cultural nas clínicas oftalmológicas. Isso envolve disposição para experimentar novas abordagens, avaliar continuamente os resultados e ajustar as estratégias conforme necessário. Comparar as práticas atuais com as inovações propostas permite que as clínicas identifiquem oportunidades de melhoria, adotando soluções que atendam às necessidades dos pacientes e fortaleçam sua posição no mercado. Essa análise é, portanto, um passo fundamental para o desenvolvimento de uma proposta de inovação eficaz, detalhada nos próximos tópicos do capítulo referente a resultados. A comparação entre o processo atual e a proposta de inovação é demonstrada no Quadro 4.

Quadro 4 – Comparação do processo atual de marketing digital e proposta de inovação

Processo atual de marketing digital	Proposta de inovação
Ausência de planejamento	Planejamento estratégico
Rotina intensa impede foco em marketing	Designação de um responsável ou equipe para gerenciar, em colaboração com o profissional médico, o marketing digital e as redes sociais
Falta de conhecimento em marketing digital	Mapeamento das estratégias de marketing e capacitação em marketing digital e gestão de redes sociais para a equipe médica.
Baixa visibilidade nas redes sociais	Criação de perfis profissionais e estratégias de engajamento nas principais redes sociais
Comunicação unidirecional e pouco interativa	Desenvolvimento de conteúdo interativo (vídeos, enquetes) e educativo para engajar pacientes
Dependência de indicações e pacientes recorrentes	Implementação de campanhas segmentadas para atrair novos pacientes por meio de tráfego pago
Falta de monitoramento e análise de resultados	Estabelecimento de indicadores para acompanhamento constante dos resultados das estratégias de marketing

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Desafios enfrentados pela médica proprietária da clínica e pelos demais profissionais de saúde

Em relação às principais dificuldades que os profissionais de saúde consideraram como influências diretas no uso do marketing digital para a promoção de seus serviços, os dados coletados revelaram as seguintes preocupações: falta de tempo disponível (22 respostas), medo de exposição (19 respostas), falta de conhecimento em marketing digital (16 respostas) e alto investimento em marketing (13 respostas).

Destaca-se que 82% dos entrevistados não tiveram, em sua grade curricular, disciplinas voltadas à gestão ou marketing. Essa lacuna educacional está diretamente relacionada às barreiras mencionadas anteriormente, o que evidencia a necessidade de oportunidades de treinamento e capacitação na área médica.

A partir dos resultados obtidos pelo questionário aplicado ao grupo de médicos via *WhatsApp*, foi possível identificar a percepção desses profissionais sobre o marketing digital, além de compreender o cenário atual que vivenciam em suas clínicas e as dificuldades que enfrentam. O Quadro 5 apresenta, de forma detalhada, a representatividade dos respondentes nesse contexto, em relação ao questionário mencionado no parágrafo anterior.

Quadro 5 – Respostas dos profissionais médicos ao questionário

Respondentes	Participantes	Representatividade	%
67	Oftalmologista	53	79,10
	Pediatra	2	2,98
	Outros	12	17,91
Respondentes	Rede Profissional	Representatividade	%
67	Possui	43	64,17
	Não Possui	24	35,82
Respondentes	Frequência de postagem na rede social	Representatividade	%
43	Diária	10	23,26
	Semanal	11	25,58
	Mensal	2	4,65
	Não tem frequência	20	46,51
Respondentes	Interesse em conhecer sobre o marketing digital	Representatividade	%
67	Sim	34	50,75
	Não	33	49,25
Respondentes	Possui responsável pela área de marketing	Representatividade	%
67	Sim	26	38,80
	Não	41	61,20
Respondentes	Desafios enfrentados para a utilização do marketing	Representatividade	%
67	Falta de tempo	22	32,83
	Medo de exposição	19	28,36
	Falta de conhecimento em marketing	16	23,88
	Alto investimento	13	19,41
	Restrições das normas regulamentadoras	11	16,42
Respondentes	Formação em Marketing	Representatividade	%
67	Sim	12	17,91
	Não	55	82,09
Respondentes	Principais plataformas digitais	Representatividade	%
67	Instagram	52	77,62
	WhatsApp	36	53,73
	Facebook	21	31,34
	Youtube	20	20,85
	Mídias pagas	18	26,86

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Para a coleta dos dados qualitativos, foi feita uma pergunta aberta sobre a opinião dos médicos no que tange às redes sociais e à inovação na prestação de serviços médicos. A palavra mais citada pelos respondentes foi “pacientes”, com 12% das citações, conforme ilustrado na figura 4. Isso indica que já se percebe, no meio médico, um movimento em direção à transformação digital na relação médico-paciente.

Figura 4 – Percepções dos respondentes sobre o uso de ferramentas de marketing digital para inovar na prestação de serviços médicos



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Quanto à entrevista presencial com a médica oftalmologista e proprietária da clínica, foram identificadas diversas dificuldades na implementação do marketing digital em sua empresa. Entre elas, destacam-se: a falta de conhecimento técnico sobre as ferramentas de marketing, a limitação de tempo imposta pela rotina médica intensa, o receio do excesso de exposição diante de seus pares e as normas regulamentadoras de publicidade e propaganda do Conselho Federal de Medicina; apesar de enfrentar essas “dores”, a médica enfatiza a importância do marketing digital para o posicionamento no mercado, em seu depoimento. “Antigamente os médicos não se expunham nas redes sociais devido ao Código de Ética rigoroso e ao medo de sofrer chacotas entre seus pares. Hoje, no entanto, o marketing se tornou essencial, e é fundamental que os profissionais se posicionem nas mídias sociais para serem alcançados, já que cada vez mais pessoas estão se conectando on-line”.

Vale salientar que essas barreiras também foram identificadas no questionário *on-line* aplicado a outros médicos. Adicionalmente, a médica mencionou outros obstáculos à sua atuação efetiva nas redes sociais, como a necessidade de adaptação às novas tecnologias e ao custo de um alto investimento financeiro para a adoção dessas medidas. Ela também apontou três preocupações específicas: i) a gestão das redes sociais, visto que enfrenta dificuldades em manter uma presença ativa e consistente nesses espaços; ii) a perda do toque pessoal no atendimento ao paciente em virtude do uso de ferramentas mais automatizadas; iii) a incerteza sobre a efetividade de campanhas de marketing digital na atração e no relacionamento com os pacientes.

Para aprofundar o estudo de caso, foi realizada uma entrevista *on-line* via *Google Meet* com uma oftalmologista com mais de cinco anos de experiência em São Bernardo do Campo – SP, que atualmente também atende em São Paulo – SP - e em Joinville – SC. O objetivo da entrevista foi identificar os desafios enfrentados na implementação do marketing digital em sua clínica e compreender suas perspectivas sobre essa nova realidade no setor da saúde.

A médica, que possui um perfil no *Instagram* com quase cinco mil seguidores, utiliza estratégias de marketing digital há oito meses. Ela destacou algumas dificuldades iniciais, como a falta de conhecimento na área, a escassez de tempo para se dedicar às atividades de marketing e os altos custos envolvidos na contratação de profissionais ou agências especializadas. No entanto, reconhece a importância da presença digital, que considera essencial como um “cartão de visita”, ajudando-a a atrair pacientes, promover a expansão de sua base de clientes e ser encontrada por outros profissionais da área.

Apesar dos desafios, a médica decidiu investir de forma significativa na contratação de agências especializadas em marketing médico. Ela enfatizou a importância da capacitação dos profissionais de saúde em marketing digital, para que não se tornem reféns dos altos custos praticados nessa área e possam manter uma boa comunicação com especialistas que desenvolvem as estratégias, especialmente no que diz respeito à criação de conteúdo para a clínica.

Após a análise das respostas do questionário, da entrevista com a proprietária da clínica e da conversa *on-line* com outra médica oftalmologista, buscou-se compreender os principais gargalos enfrentados pela classe médica e, a partir disso, identificar maneiras de promover a inovação nos serviços oferecidos por clínicas médicas por meio do marketing digital.

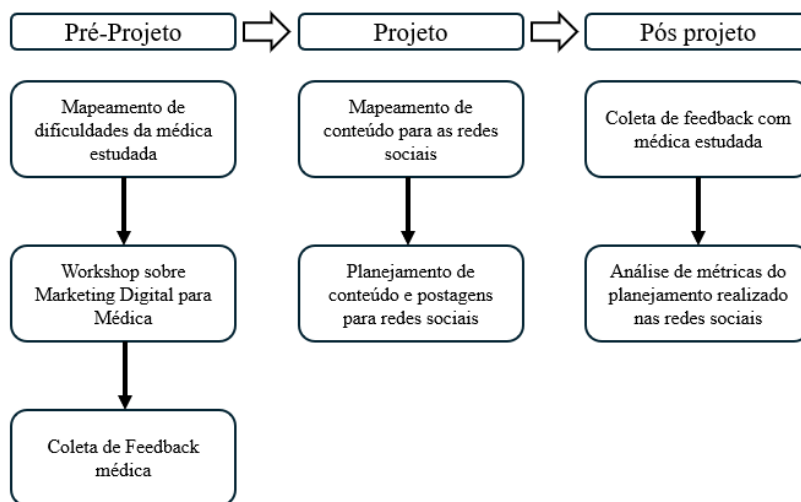
Nesse sentido, nota-se uma lacuna no aprendizado de gestão e de marketing entre os médicos, o que leva muitos a perceberem as ferramentas de marketing como barreiras, devido ao medo da exposição demasiada e à dificuldade em gerir o tempo, em vez de enxergarem-nas como oportunidades para fortalecer o relacionamento médico-paciente. Sendo assim, para mudar essa percepção, é fundamental desenvolver práticas de capacitação médica e implementar ações que solucionem essas dificuldades, permitindo uma maior abertura digital na área médica (Telles; Santos, 2023).

Proposta de inovação aplicada no estudo de caso

Com os dados coletados e a partir da constatação das dificuldades enfrentadas na área da saúde, foi elaborada e desenvolvida uma proposta de inovação de serviços, com aplicação direcionada ao perfil da médica proprietária da clínica estudada, por meio do uso de ferramentas de marketing digital. O objetivo foi aplicar, acompanhar e medir o alcance dessas ferramentas dentro das redes sociais. As ações foram realizadas tanto de maneira remota quanto presencial, considerando a importância de uma aproximação maior com o caso.

Dessa forma, a inovação fundamenta-se no desenvolvimento estratégico de conteúdo e na capacitação médica para redes sociais. O projeto-piloto foi aplicado e dirigido pelas autoras, contando com a colaboração ativa da médica proprietária da clínica, que apoiou o compartilhamento e a revisão dos conteúdos propostos para sua rede social profissional no *Instagram*. Para que cada etapa fosse concluída, o projeto foi dividido em três fases: pré-projeto, projeto e pós-projeto. O detalhamento das etapas e dos pontos contemplados está ilustrado na figura 5:

Figura 5 – Fluxograma detalhado das etapas do projeto-piloto



Fonte: elaboração das autoras (2024).

A etapa de pré-projeto foi determinante para se entender as necessidades e promover um *workshop* presencial sobre ferramentas, conceitos e aplicação teórica do marketing digital para a médica estudada. Após essa etapa, a coleta de *feedback* foi realizada por meio de um formulário, que incluiu avaliação da estrutura do *workshop*, além de perguntas objetivas e abertas relacionadas ao conteúdo aplicado, visando sua aplicação posterior a outros médicos.

Na etapa seguinte, o projeto teve como objetivo mapear, planejar e elaborar os conteúdos mais relevantes para as redes sociais da médica, considerando suas especializações, além de levar em conta o *benchmarking* realizado previamente com agências de marketing digital. Durante esse processo, a participação da médica no desenvolvimento de conteúdo para aplicação autônoma em suas redes proporcionou uma análise positiva em relação ao *workshop*. O *feedback* da doutora indicou que ela se sentiu mais confiante e preparada para construir sua presença digital, conforme registrado em seu depoimento: “Me sinto mais confiante e preparada após o *workshop* para construir minha presença digital.” Esse retorno evidencia que as ações realizadas foram eficazes no desenvolvimento da médica em relação ao marketing digital e ao uso das ferramentas propostas no *workshop*.

A produção de vídeos informativos foi conduzida pelas pesquisadoras e teve como objetivo capacitar o corpo médico em temas como: princípios de marketing digital, marketing médico, planejamento e gestão do tempo e autoconfiança digital.

Na etapa de pós-projeto, foi realizada a coleta de dados para avaliar a satisfação com as ações implementadas, com o objetivo de compreender a experiência da médica e sua percepção sobre melhorias e/ou sugestões. Além disso, para analisar a efetividade das práticas, foram avaliadas métricas como o aumento de seguidores e interações na rede social da médica. Considerando essas métricas, o perfil estudado apresentou, após a implementação do projeto em um período de 40 dias (de 30/9/2024 a 9/11/2024), um acréscimo de 63,9% em relação ao número inicial de seguidores, além do aumento nas visualizações das postagens e visitas ao perfil, com 67,9% provenientes de seguidores e 32,1% de não seguidores. Os conteúdos mais acessados foram publicações (49,0%) e stories (33,6%). A Tabela 1 apresenta o número de seguidores e visualizações do perfil antes e após a implementação do projeto.

Tabela 1 – Aumento de seguidores e visualizações na rede social da médica

Seguidores - pré-projeto	Seguidores - pós-projeto	Visualizações - pré-projeto	Visualizações - pós-projeto
621	1033	8.947	10.057

Fonte: elaboração dos autores (2024).

A partir das análises e coletas realizadas, o projeto possibilitou o desenvolvimento de competências técnicas e teóricas para a médica, viabilizando sua autonomia na atuação digital e demonstrando a eficácia da aplicação de ferramentas de marketing digital como ponte para alcançar oportunidades nas redes sociais.

Considerações finais

Tendo em vista o objetivo geral da pesquisa, que foi analisar a utilização do marketing digital como ferramenta de inovação em serviços oftalmológicos, foi possível identificar que essas ferramentas contribuem positivamente para a promoção, divulgação e visibilidade dos profissionais da área da saúde. Observou-se também que os médicos já compreendem a movimentação digital dos seus pacientes. No entanto, ainda existem barreiras que dificultam o desenvolvimento dos profissionais em relação ao uso dessas ferramentas, o que abre espaço para futuras pesquisas que busquem desenvolver metodologias inovadoras para a capacitação desses profissionais, bem como para a aplicação de conceitos de gestão eficiente, metodologia *Lean* e gestão do tempo.

Também foi perceptível que as propostas de inovação apresentadas têm aplicabilidade prática e podem ser implementadas em outros consultórios médicos e em diversas áreas da medicina. Isso inclui, por exemplo, a adoção de estratégias de marketing digital para ampliar a visibilidade, atrair novos pacientes, melhorar a comunicação de forma direta e acessível e possibilitar a segmentação do público-alvo. Outras contribuições práticas envolvem a otimização de processos internos, a redução de altos custos na implementação do marketing digital em clínicas médicas por meio de soluções acessíveis, a melhoria na experiência do paciente, com um atendimento mais ágil e eficiente, e a criação de campanhas educativas que promovam a saúde e a prevenção ocular de maneira ampla e contínua.

A contribuição social desta pesquisa pode se concretizar na evolução dos profissionais da área da saúde, especialmente no processo de adaptação ao ambiente digital e no reconhecimento da relevância das redes sociais no contexto médico. Já a contribuição teórica indica que há temas relacionados ao marketing digital voltado para a saúde que necessitam de maior aprofundamento, como gestão do tempo e capacitação de profissionais médicos em gestão e marketing.

Assim, o trabalho enriquece o campo do marketing na área da saúde como uma fonte de inovação nos serviços prestados, fomentando um debate mais amplo na administração sobre as oportunidades de mercado geradas pelo uso do marketing digital em setores ainda pouco explorados.

Durante a elaboração da pesquisa, foram enfrentadas dificuldades relacionadas ao contexto médico, caracterizado por restrições e preocupações quanto à publicidade e propaganda nas redes sociais. Essas

limitações dificultaram a obtenção de informações ainda mais aprofundadas sobre a atuação médica dentro do marketing digital e a disponibilidade dos profissionais médicos, cuja agenda comprometida impediu uma participação mais ativa na elaboração desta pesquisa.

Referências

- ALVES, F. H. C. *et al.* Percepções de alunos de medicina sobre marketing médico. **Revista Brasileira de Educação Médica**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 293-299, 2012. Disponível em: <http://educa.fcc.org.br/pdf/rbem/v36n03/v36n03a02.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- ALVES, S. B. B. *et al.* Uma breve revisão narrativa sobre o marketing na odontologia. **Scientia Generalis**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 248-256, 2022. Disponível em: <https://www.scientiageneralis.com.br/index.php/SG/article/view/456>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- AU-YONG-OLIVEIRA, A. *et al.* Instagram, Facebook e YouTube: quem é mais eficaz na sua publicidade? **Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação**, [S. l.], n. E34, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/8c97c289da79d53f70e8c63487d09641/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>. Acesso em: 13 nov. 2024.
- BACHMANN, D. **Guia para a inovação**: instrumento de orientação de ações para melhoria das dimensões da inovação. Sebrae, 2015. Disponível em: <https://bis.sebrae.com.br/bis/conteudoPublicacao.zhtml?id=5624>. Acesso em: 19 ago. 2024.
- BARATA, J. M. M. **Inovação nos serviços**: conceitos, modelos e medidas. Lisboa: Teaching Economics Working Papers, Instituto Superior de Economia e Gestão, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.5/29905>. Acesso em: 5 maio 2024.
- BASTOS, J. E. S. *et al.* O Uso do Questionário como Ferramenta Metodológica: potencialidades e desafios. **Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences**, v. 5, n. 3, p. 623-636, 2023.
- BLANDFORD, A. E. **Semi-structured qualitative studies**. In: SOEGAARD, M.; DAM, R. (Eds.). **The Encyclopedia of Human-Computer Interaction**. Denmark: Interaction Design Foundation, 2013. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1436174/>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- BRASIL. **Lei nº 13.709**, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 2 abr. 2024.
- CABRAL, H. **Estratégias do marketing digital**. Curitiba: Contentus, 2020.
- CAMACHO, D. **Marketing Digital**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2019. 158 p.
- CAMPISTA, C. Código de Moral Médica, tradução do Código de Moral Médica aprovado pelo VI Congresso Médico Latino-Americano. **Boletim do Sindicato Médico Brasileiro**, [S.l.], n. 8, p. 114-123, 1929. Disponível em: <https://portal.cfm.org.br/wp-content/uploads/2020/09/codigomoralmedica1929.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- CARDOSO, R. *et al.* Inovação em Serviços de Turismo na perspectiva do Consumidor Turístico. **Revista Eletrônica de Administração e Turismo – ReAT**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 72-93, 2024. Disponível em: <https://revistas.ufpel.edu.br/index.php/ReAT/article/view/5568>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- CARVALHO, V. A necessidade de um referencial de recomendações de comportamento nas mídias sociais para médicos e estudantes de medicina. **Boletim do Curso de Medicina da UFSC**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 14-22, 2024. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/medicina/article/view/7093>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CASTRO, E.; OLIVEIRA, U. T. V. A entrevista semiestruturada na pesquisa qualitativa-interpretativa: um guia de análise processual. **Entretextos**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 25-45, 2022. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/entretextos/article/view/46089>. Acesso em: 9 nov. 2024.

CASTRO, G. M. *et al.* A relevância e influência dos avanços das Tecnologias da Informação e Comunicação para o comportamento e a ética médica. **Brazilian Journal of Health Review**, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 1921-1928, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.34119/bjhrv5n1-169>. Acesso em: 9 nov. 2024.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2006. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 2 jun. 2024.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA (CFM). **Demografia Médica**. 2024. Disponível em: <https://observatorio.cfm.org.br/demografia>. Acesso em: 10 nov. 2024.

_____. **Manual de Publicidade Médica**. Resolução CFM nº. 2.336, de 13 de julho de 2023. Brasília, DF: Conselho Federal de Medicina, 2024. Disponível em: <https://www.flip3d.com.br/pub/cfm/index9/?numero=45&edicao=5578#page/3>. Acesso em: 9 nov. 2024.

CONSELHO REGIONAL DE MEDICINA DO ESTADO DE SÃO PAULO (CREMESP). **Codame**. São Paulo: Departamento de Fiscalização do Cremesp (DEF), 2024. Disponível em: <https://fiscalizacao.cremesp.org.br/index.php/codame/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

CORREIA, A. M. M.; GONÇALVES, H. S. **Radar da Inovação nas organizações**: Fundamentos teóricos e práticas no Nordeste. João Pessoa: Editora UFPB, 2022.

COSTA, A. J. C. Marketing digital: um estudo comparativo dos resultados no Instagram. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 15., 2018. **Anais eletrônicos** [...] AEDB, 2018. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos18/17726184.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

COSTA, I. F. **Instagram enquanto estratégia competitiva**: o caso da Carhouse Estética Automotiva. 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Centro de Estudos Superiores de Codó, Universidade Estadual do Maranhão, Codó, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/bitstream/123456789/2311/1/Artigo%20IRLANE%20F%c3%89LIX%20COSTA%20PDF-A.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

COSTA, P. R. A presença de arquétipos nos youtubers: modos e estratégias de influência. **Galáxia**, São Paulo, v. 45, p. 5-19, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-25532020347613>. Acesso em: 9 nov. 2024.

CROWE, S. *et al.* The case study approach. **BMC Medical Research Methodology**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 1-9, 2011.

DEN HERTOOG, P.; BILDERBEEK, R. Conceptualising Service Innovation and Service Innovation Patterns. **Research Programme on Innovation in Services (SIID)**, [S.l.], 1999. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/215915602_Conceptualising_Service_Innovation_and_Service_Innovation_Patterns. Acesso em: 9 nov. 2024.

DIAS, G. M. **Inovação no setor de serviços**: uma revisão de literatura. 2023. 43 f. Trabalho de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/252933>. Acesso em: 7 set. 2024.

DJELLAL, F.; GALLOUJ, F. Mapping innovation dynamics in hospitals. **Research Policy**, [S.l.], v. 34, n. 6, p. 817–835, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.04.007>. Acesso em: 10 nov. 2024.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research. **The Academy of Management Review**, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>. Acesso em: 10 nov. 2024.

FLICK, U. **Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes**. Porto Alegre Brazil: Penso, 2013.

FRANÇA, W. M. **O Verdadeiro Marketing Médico**: Um guia prático de médico para médico. Novatec Editora, 2024. 224 p.

GABRIEL, M. **Marketing na era digital**: Conceitos, plataformas e estratégias. São Paulo: Novatec, 2010.

GABRIEL, M.; KISO, R. **Marketing de era digital**: Conceitos, plataformas e estratégias. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

GALLOUJ, F.; WEINSTEIN, O. Innovation in services. **Research Policy**, v. 26, n. 4-5, p. 537–556, 1997. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222278855_Innovation_in_services. Acesso em: 1 maio 2024.

GARCIA, L. J. *et al.* Innovation and marketing strategy: a systematic review. **International Journal of Innovation**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. e23150, 2023. Disponível em: <https://uninove.emnuvens.com.br/innovation/article/view/23150>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GIACOMETTI, C. F. *et al.* Internet use by pregnant women during prenatal care. **Einstein (São Paulo)**, São Paulo, v. 22, p. eAO0447, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eins/a/DJdTT7DsjsTNts4MgM48N5D/>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GIACOMETTI, H. B. **Ferramentas do marketing**: do tradicional ao digital. Curitiba: Intersaberes, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 5 jul. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo Atlas, 2002.

GILPRESS. **WhatsApp Statistics, Users, Demographics as of 2023**. Whats The Big Data, 2024. Disponível em: <https://whatsthebigdata.com/whatsapp-statistics/>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GODIN, B. **Innovation contested**: the idea of innovation over the centuries. New York: Routledge, 2015.

GOMES, D. T.; VERA, L. A. R. Um estudo sobre a percepção dos consumidores do varejo de moda das pequenas empresas sobre as estratégias de mídias pagas e mídias ganhas nas redes sociais. **International Journal of Business and Marketing**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 55-65, 2022. Disponível em: <https://www.ijbmkt.org/ijbmkt/article/view/208>. Acesso em: 3 jun. 2024.

GUSTAFSSON, A. *et al.* Service Innovation: A New Conceptualization and Path Forward. **Journal of Service Research**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 111-115, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1094670520908929>. Acesso em: 10 nov. 2024.

KOAY, K. Y. *et al.* Instagram influencer marketing: Perceived social media marketing activities and online impulse buying. **First Monday**, [S. l.], v. 26, n. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5210/fm.v26i9.11598>. Acesso em: 14 nov. 2024.

KOTLER, P.; KARTAJAYA, H.; SETIAWAN, I. **Marketing 4.0**. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.

KOTLER, P.; KELLER, L. K. **Administração de Marketing**. 15 ed. São Paulo: Pearson, 2018.

LADISLAU, A. S. *et al.* A importância do marketing de relacionamento em uma empresa no setor de saúde e estética da cidade de Manaus. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 14, n. 5, p. 8180-8199, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2187>. Acesso em: 18 ago. 2024.

LAS CASAS, A. L. **Crociação de valor**: conectando a empresa com os consumidores através das redes sociais e ferramentas colaborativas. São Paulo: Atlas, 2014. 208 p.

LEITÃO, C. F.; PRATES, R. O. A Aplicação de Métodos Qualitativos em Computação. **Jornadas de Atualização em Informática**, [S. l.], p. 43-90, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370688639_A_Aplicacao_de_Metodos_Qualitativos_em_Computacao. Acesso em: 9 nov. 2024.

LIMA, L. A. Consumo, vida saudável e redes sociais digitais: A influência dos médicos a partir do Instagram. In: CONGRESSO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO NA REGIÃO SUDESTE, 24., 2019, Vitória - ES. **Anais eletrônicos** [...]. Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação, 2019. Disponível em: <https://portalintercom.org.br/anais/sudeste2019/resumos/R68-0757-1.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

LIMEIRA, T. M. V. **E- Marketing**: o marketing na internet com casos brasileiros. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

MARCONDES, N. A. V.; BRISOLA, E. M. A. Análise por triangulação de métodos: um referencial para pesquisas qualitativas. **Revista Univap**, [S. l.], v. 20, n. 35, p. 201–208, 2014. Disponível em: <https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/228>. Acesso em: 1 dez. 2024.

MENEZES, A. *et al.* **Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância**. Petrolina: Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2019. 83 p.

MOLINA, J. V.; MOLINA, A. Produção de conteúdo em marketing digital: A influência na relação com os clientes. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, [S.l.], v. 8, n. 8, p. 1176-1188, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i8.6692>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MYERS, S; MARQUIS, D. G. **Successful industrial innovation: a study os factors underlying innovation in selected firms**. Washington: National Science Foundation, 1969.

NAGUMO, E. *et al.* A utilização de vídeos do Youtube como suporte ao processo de aprendizagem (Using Youtube vídeos to support the learning process). **Revista Eletrônica de Educação**, [S.l.], v. 14, p. 3757008, 2020. Disponível em: <https://www.reveduc.ufscar.br/index.php/reveduc/article/view/3757/963>. Acesso em: 13. nov. 2024.

OLIVEIRA, J. D. S. **Marketing digital: uso de mídias sociais como estratégia para dar uma visibilidade às organizações de saúde de Maceió durante a pandemia**. 2023. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/12523>. Acesso em: 13. nov. 2024.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo: diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. 3. ed. FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, 2006.

OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y. **Business Model Generation**. Erscheinungsort Nicht Ermittellbar: Campus, 2010.

PÁTARO, C. R.; OLIVA, D. D. **Construindo a pesquisa: métodos, técnicas e práticas em sociologia**. Curitiba: Intersaberes, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 2 jun. 2024.

PEÇANHA, V. **Obrigado pelo marketing**. São Paulo: Benvirá, 2017.

PEREIRA, J. A. F. S. *et al.* Radar da Inovação. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE GESTÃO, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO (EIGEDIN), 7., 2024. **Anais eletrônicos [...]**. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/20761/14181>. Acesso em: 10 nov. 2024.

PLONSKI, G. Inovação em transformação. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 31, n. 90, p. 7-21, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/137882>. Acesso em: 1 maio 2024.

PORTER, M. E. **Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. New York: The Free Press, 1998.

PULIZZI, J. **Epic content marketing: How to tell a different story, break through the clutter, and win more customers by marketing less**. New York: McGraw-Hill Education, 2013.

PURIM, K. *et al.* Publicidade médica em redes sociais: conhecimento e ensino na graduação de Medicina. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, [S.l.], v. 49, p. e20223386, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-6991e-20223386>. Acesso em: 10 nov. 2024.

RADU, G. *et al.* The adaptation of health care marketing to the digital era. **Journal of Medicine and Life**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 44-46, 2017. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5304370/>. Acesso em: 10 nov. 2024.

RYAN, D. **Understanding Digital Marketing**. 3. ed. London: Kogan Page, 2014.

SÁ, P. *et al* (Orgs.). **Reflexões em torno de Metodologias de Investigação: recolha de dados**. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2021. v. 2.

SAMPAIO, V.; TAVARES, C. V. C. C. Marketing digital: O poder da influência das redes sociais na decisão de compra do consumidor universitário da cidade de Juazeiro do Norte-CE. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 1, n. 104, p. 1-26, 2017. Disponível em:

https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_cira_e_cristiano_0.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

SANTO, F. O. *et al.* Ciclo de Inovação de novos produtos e serviços. **Revista Acadêmica – Ensino de Ciências e Tecnologias (Online)**, [S.l.], n. 13, P. 21-29, 2023. Disponível em: <https://intranet.cbt.ifsp.edu.br/qualif/volume13/artigo2.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

SAWHNEY, M. *et al.* The 12 different ways for companies to innovate. **IEEE Engineering Management Review**, [S.l.], v. 35, n. 1, p. 45-45, 2007. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/the-different-ways-for-companies-to-innovate/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SCHMIDT, A. D. A. *et al.* Publicidade médica em tempos de medicina em rede. **Revista Bioética**, [S.l.], v. 29, n. 1, p. 115-127, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-80422021291452>. Acesso em: 9 nov. 2024.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e ciclo econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1997. 76 p.

SILVA, I. P. C. *et al.* Análise da adequação do currículo dos cursos de graduação em medicina acerca do seguimento da carreira médica. **Interação – Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 11-26, 2024. Disponível em: <https://ojs.periodicos.unis.edu.br/interacao/article/view/894>. Acesso em: 9 nov. 2024.

SILVA, M. J. B. *et al.* Online Engagement and the Role of Digital Influencers in Product Endorsement on Instagram. **Journal of Relationship Marketing**, [S.l.], v. 19, n. 2, p. 133-163, 2019. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15332667.2019.1664872?casa_token=grDV1YHdoOMAAAA:ciPS4p4InfHEMnpzr2Kvi-EffA2JdUwm1ibtWRwDg9cihqBvKA9vuyiV5nn1Zel99rZthX_qO6dgovQ. Acesso em: 9 nov. 2024.

SOUSA, J. *et al.* **Impactos e reflexos pós-pandemia da Covid-19 no marketing das clínicas odontológicas de Posse (GO)**. 2024. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Estratégica de Negócios) – Instituto Federal Goiano, Posse, 2024. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/4606/2/mon_esp_Jessiane%20Moreira%20dos%20Santos%20Sousa.pdf. Acesso em: 9 nov. 2024.

SPENDOLINI, M. J. **The Benchmarking Book**. São Paulo: Mkron Books, 1992. 256 p.

STRECK, M.; PELLANDRA, E. C. Instagram como interface da comunicação móvel e ubíqua. **Sessões do Imaginário**, [S.l.], v. 22, n. 37, p. 10-19, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1980-3710.2017.1.28017>. Acesso em: 13 nov. 2024.

TAQUETTE, S. R.; BORGES, L. **Pesquisa qualitativa para todos**. São Paulo: Vozes, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 1 jun. 2024.

TELLES, M.; SANTOS, C. D. Autônomos e conectados: desenvolvimento de competências comunicacionais e presença de profissionais em plataformas digitais. **Comunicação, Mídia e Consumo**, [S.l.], v. 20, n. 58, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18568/cmc.v20i58.2798>. Acesso em: 9 nov. 2024.

TIDD, J.; BESSANT, J. **Gestão da inovação**. 5. ed. Bookman Editora, 2015. 648 p.

TIGRE, P. B.; PINHEIRO, A. M. (Coords.). **Inovação em serviços e a economia do compartilhamento**. São Paulo: Saraiva Educação, 2019. 344 p.

TINÉ, J. P. V. Impacto da Tecnologia e Suas Transformações na Área da Saúde. **Unirepositório**, [S.l.], v. 2, n. 11, p. 1-15, 2024. Disponível em: https://unirepositorio.education/impacto_da_tecnologia_e_suas_transformacoes_na_area_da_saude.html. Acesso em: 9 nov. 2024.

TORRES, C. **A Bíblia do Marketing Digital**. São Paulo: Novatec, 2009.

UMBELINO, C. C. **As condições da Saúde Ocular no Brasil 2023**. São Paulo: Conselho Brasileiro de Oftalmologia – CBO, 2023. 106 p. Disponível em: [https://www.cbo.net.br/admin/docs_upload/014441Finalizada_online_condicoes_saude_ocular_brasil_2023_cbo%20\(2\).pdf](https://www.cbo.net.br/admin/docs_upload/014441Finalizada_online_condicoes_saude_ocular_brasil_2023_cbo%20(2).pdf). Acesso em: 9 nov. 2024.

UMBELINO, C. C.; ÁVILA, M. P. (Orgs.). **Censo 2021**. São Paulo: Conselho Brasileiro de Oftalmologia – CBO, 2021. Disponível em: https://cbo.net.br/2020/admin/docs_upload/034327CensoCbo2021.pdf. Acesso em: 9 nov. 2024.

_____. **Olhares sobre o Brasil 2023**: Os desafios da inclusão da Oftalmologia na Atenção Básica. 7. ed. São Paulo: Conselho Brasileiro de Oftalmologia – CBO, 2024. Disponível em: https://www.cbo.net.br/admin/docs_upload/Olhares%20Sobre%20O%20Brasil%202023.pdf. Acesso em: 9 nov. 2024.

URATNIK, M. Interactional Service Innovation with Social Media Users. **Service Science**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. 300-319, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1287/serv.2016.0149>. Acesso em: 13 nov. 2024.

VALLE, C. *et al.* As mídias sociais como ferramenta de estratégia de marketing: um estudo de caso no setor da beleza. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, [S.l.], v. 17, n. 50, p. 110-129, 2024. Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/3325>. Acesso em: 7 set. 2024.

VARGAS, C. J. *et al.* Proposta de um modelo conceitual da relação entre transformação digital e inovação em serviços. **Revista Gestão & Tecnologia**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 160-186, 2023. Disponível em: <https://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/2521>. Acesso em: 7 set. 2024.

VARGAS, M.; SANTOS, D. (Orgs.). **Tempos e espaços da pesquisa qualitativa**. Aracaju: Criação Editora, 2018. 354 p.

VIEIRA, C. M. *et al.* Ética e Publicidade Médica nas Redes Sociais em Dermatologia. **Principia: Caminhos da Iniciação Científica**, [S.l.], v. 23, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.34019/2179-3700.2023.v23.40558>. Acesso em: 13 nov. 2024.

WHATSAPP. **About WhatsApp**. 2024. Disponível em: <https://www.whatsapp.com/about>. Acesso em: 9 nov. 2024.

WU, Y. *et al.* Consumer resource intergration and service innovation in social commerce: the role of social media influencers. **Journal of the Academy of Marketing Science**, [S.l.], v. 50, n. 3, p. 429-459, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11747-022-00837-y>. Acesso em: 13 nov. 2024.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: Planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

ZAPPELLINI, M. B; FEUERSCHÜTTE, S. G. O uso da triangulação na pesquisa científica brasileira em administração. **Administração Ensino e Pesquisa**, v. 16, n. 2, p. 241–273, 2015.

Desenvolvimento de bebida alcoólica fermentada mista utilizando suco de caju e maçã

Development of a mixed fermented alcoholic beverage using cashew and apple juice.

Engenharia de Alimentos

Luísa Lasso Raposo (luisalassoraposo@gmail.com)

Graduada em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Gabriella Aparecida de Souza Rodrigues (rgabriellarx@gmail.com)

Graduada em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Débora Vitória Pereira Mesquita Gomes

(deboravitoriagomes225@gmail.com)

Graduada em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Mateus Guilherme dos Santos (mateusgds41@gmail.com)

Graduado em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Leo Kunigk (pro14737@cefsa.edu.br)

Doutor em Ciências dos Alimentos pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade São Judas Tadeu (USJT).

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025

• ISSN 2525-8729

Submissão: 13 dez. 2025 Aceitação: 22 mai. 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 60 – p. 83

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

O aproveitamento do pedúnculo do caju na elaboração de bebidas fermentadas representa uma alternativa para agregar valor a uma matéria-prima regional ainda subutilizada. Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar uma bebida alcoólica fermentada mista elaborada com sucos clarificados de caju e maçã. Foram testadas formulações com diferentes proporções dos sucos, concentrações de *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* e quantidades de sacarose, incluindo ensaios com adição de suco de laranja. O processo fermentativo foi acompanhado pela determinação dos sólidos solúveis, e a formulação selecionada foi submetida a análises físico-químicas e à estimativa dos custos de produção. A formulação composta por 35% de suco de caju e 65% de suco de maçã, com 1,75 g/L de levedura e 43,60 g de sacarose, apresentou redução dos sólidos solúveis de 14,0 para 3,8 °Brix após quatro dias de fermentação e graduação alcoólica de 10,2% v/v. Os resultados de acidez total, acidez fixa, acidez volátil e extrato seco reduzido atenderam aos limites estabelecidos pela legislação brasileira. A estimativa de custos indicou valor elevado em escala piloto, com possibilidade de redução mediante ampliação da produção e aquisição de insumos em maior volume. Concluiu-se que a formulação apresentou viabilidade técnica e potencial para o aproveitamento do pedúnculo do caju, embora sejam necessários estudos sensoriais, de estabilidade e de viabilidade econômica em escala industrial.

Palavras-chave: *Saccharomyces cerevisiae*. Frutas. Mosto. Valorização de matérias-primas. Aproveitamento.

Abstract

The use of cashew apple peduncles in the production of fermented beverages represents an alternative for adding value to a regional raw material that remains underutilized. This study aimed to develop and evaluate a mixed fermented alcoholic beverage produced from clarified cashew apple and apple juices. Formulations with different juice proportions, concentrations of *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus*, and amounts of sucrose were tested, including trials with the addition of orange juice. The fermentation process was monitored by measuring soluble solids, and the selected formulation was subjected to physicochemical analyses and production cost estimation. The formulation containing 35% cashew apple juice and 65% apple juice, with 1.75 g/L of yeast and 43.60 g of sucrose, showed a reduction in soluble solids from 14.0 to 3.8 °Brix after four days of fermentation and an alcohol content of 10.2% v/v. The results for total acidity, fixed acidity, volatile acidity, and reduced dry extract complied with the limits established by Brazilian legislation. The cost estimate indicated a high production cost at pilot scale, with the possibility of reduction through increased production scale and bulk purchasing of raw materials. It was concluded that the selected formulation was technically feasible and showed potential for the utilization of cashew apple peduncles, although further sensory, stability, and industrial-scale economic feasibility studies are required.

1

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*. Fruit. Must. Raw material valorization. Resource utilization.

Introdução

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta nativa do Brasil, cuja produção se concentra principalmente na região Nordeste, responsável por aproximadamente 95% do total nacional, com destaque para o estado do Ceará (Embrapa, 2022). Em 2024, a produção de caju apresentou crescimento de 29,7% em relação ao ano anterior (Conab, 2024). Apesar de sua relevância econômica, o aproveitamento do fruto ainda ocorre de maneira desigual: enquanto a castanha possui elevado valor comercial, o pedúnculo, parte carnosa popularmente reconhecida como fruto, permanece subutilizado, o que contribui para perdas ao longo da cadeia produtiva (Santos et al., 2022).

A necessidade de ampliar o uso do pedúnculo tem estimulado iniciativas voltadas à diversificação de produtos derivados do caju. Nesse contexto, o Projeto de Lei nº 3.484, apresentado à Câmara dos Deputados em 2024, propõe a criação da Política Nacional de Incentivo à Cajucultura, com medidas destinadas à redução das perdas, ao aumento da produtividade e à diversificação dos produtos obtidos dessa cultura (Brasil, 2024). Entre as possibilidades de agregação de valor, destaca-se sua utilização na elaboração de bebidas.

A maçã (*Malus domestica* Borkh.) também apresenta potencial para esse tipo de aplicação. Embora seja amplamente comercializada para consumo *in natura*, frutos que não atendem aos padrões visuais exigidos pelo mercado podem ser destinados ao processamento industrial. Seu sabor suave e adocicado favorece o emprego em bebidas formuladas com outras matérias-primas, pois contribui para o teor de açúcares sem encobrir o perfil sensorial da fruta predominante (Magalhães et al., 2023).

A combinação de caju e maçã pode, portanto, constituir uma alternativa para o desenvolvimento de bebidas alcoólicas fermentadas mistas. Conforme o Decreto nº 6.871/2009, esse produto é obtido pela mistura de fermentados e/ou sucos de frutas, podendo conter açúcares e aditivos, e deve apresentar graduação alcoólica entre 4% e 14% em volume (Brasil, 2009). Seus padrões de identidade e qualidade são estabelecidos pela Instrução Normativa nº 35/2010 (Brasil, 2010). Além do respaldo regulatório, o segmento apresenta perspectivas de expansão, com crescimento observado na produção e nas vendas de categorias como sidras e espumantes (Euromonitor, 2024).

Nesse processo, a composição de açúcares das frutas exerce papel importante, uma vez que esses compostos atuam como substratos para as leveduras durante a fermentação alcoólica. O caju apresenta, em média, 4,67% de frutose em sua composição de açúcares totais (Côrtes et al., 2016), enquanto a maçã pode conter até 10,49%, correspondendo a uma parcela significativa dos principais açúcares presentes na fruta, como sacarose, glicose e frutose (Paganini et al., 2004). Dessa forma, a maior concentração de

açúcares naturais da maçã pode complementar a composição do suco de caju e reduzir parcialmente a necessidade de adição de sacarose ao mosto.

Diante desse cenário, a produção de uma bebida alcoólica fermentada mista de caju e maçã representa uma possibilidade de valorização do pedúnculo do caju, associada ao uso tecnológico da maçã e à diversificação de produtos fermentados. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar uma bebida alcoólica fermentada mista elaborada com sucos clarificados de caju e maçã. Foram avaliadas diferentes proporções entre as frutas, concentrações de inóculo, quantidades de sacarose, características físico-químicas e o efeito da adição de suco de laranja sobre o processo fermentativo.

Metodologia

As etapas experimentais incluíram caracterização do suco de laranja, extração das pectinas utilizando um método ácido adaptado de protocolos consolidados na literatura, determinação dos rendimentos de extração e secagem, análise de umidade, produção de géis pécticos para avaliação de textura por meio de Análise de Perfil de Textura (TPA) e elaboração de geleias para análise sensorial por teste de comparação múltipla. Todas as análises foram realizadas nos laboratórios da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA), empregando metodologias baseadas, majoritariamente, nas normas do Instituto Adolfo Lutz (2008), além de referências complementares pertinentes. A seguir, são descritos os procedimentos metodológicos adotados em cada etapa do trabalho.

Matérias-primas

Para o desenvolvimento da bebida alcoólica fermentada foram utilizadas as seguintes matérias primas: caju *in natura*, suco de maçã clarificado, levedura *Saccharomyces cerevisiae* (var. *Bayanus*), sacarose e metabissulfito de potássio.

O suco de caju clarificado foi obtido a partir dos cajus *in natura* e seguindo as instruções descritas por Paiva (2010). No seu processo foram utilizados 15 pseudofrutos, cajus descastanhados, os quais foram obtidos em comércio local do município de Santo André - SP com diferentes graus de maturação. Os cajus passaram por um processo de limpeza e sanitização com hipoclorito de sódio 1% durante 30 minutos, seguido de trituração em um multiprocessador de alimentos da marca Philco (PMP1600P), sendo utilizados os frutos integralmente. Para a remoção de parte da casca e fibras maiores realizou-se filtração em peneira doméstica.

O suco obtido foi clarificado utilizando-se gelatina em pó incolor sem sabor da marca Dr. Oetker, pelo método descrito por Medeiros (2022). A gelatina ficou em contato com o suco obtido por 2 horas, para que ocorresse o processo de decantação; posteriormente, foi realizada uma filtração com papel filtro da marca Brigitta 103, obtendo-se assim 1,5 L de suco de caju clarificado. O acondicionamento do suco foi realizado em garrafas plásticas e mantido em refrigeração em temperatura de 5°C.

O suco de maçã integral clarificado da marca OQ foi adquirido no comércio local, com o intuito de garantir a padronização da matéria-prima. O açúcar refinado utilizado para a chaptalização das formulações foi da marca Guarani. A levedura escolhida para a fermentação foi a *Saccharomyces cerevisiae* (var. *bayanus*) da marca Maurivin PDM, sendo específica para a fabricação de vinhos e bebidas fermentadas. O metabissulfito de potássio da marca Neon, em uma dosagem de 8 g/hL, foi utilizado para inibir o crescimento de bactérias acéticas no meio. Tanto a levedura quanto o metabissulfito foram disponibilizados pelo CEFSa.

Elaboração do mosto e da concentração de levedura

Foram avaliadas quatro formulações, elaboradas com diferentes proporções dos sucos de caju, maçã e laranja, concentrações de inóculo e quantidades de sacarose adicionada. O objetivo foi analisar a influência dessas combinações sobre o processo fermentativo.

Cada ensaio foi preparado separadamente e submetido ao mesmo processo de fermentação com duração de 4 dias, sendo realizados em kitassatos de 500 mL, acoplados a mangueiras conectadas a um béquer contendo água e etanol para a saída de gases formados durante a fermentação, e

vedados com rolhas de borracha e algodão hidrofílico, inibindo o contato com o meio externo e a entrada de contaminantes, visando garantir a comparabilidade dos resultados.

Para cessar o processo fermentativo, foi adicionado metabissulfito de potássio e, em seguida, as formulações foram resfriadas a 1°C e mantidas nessas condições durante 3 dias, a fim de propiciar a sedimentação das leveduras e fermentações secundárias como a malolática.

Após esse período de decantação, foi realizado o processo de trasfega dos fermentados alcoólicos para a retenção da biomassa de leveduras. De acordo com os resultados obtidos dos ensaios citados, foi definida a formulação padrão para posterior condução das análises finais.

Chaptalização

A chaptalização é um processo que consiste na adição de açúcar ao mosto com o objetivo de fornecer substrato adequado para a levedura durante a fermentação, resultando na produção de etanol e dióxido de carbono (Rizzon *et al*, 1994). De acordo com a legislação brasileira, um fermentado misto de frutas deve apresentar um teor alcoólico entre 4% e 14% (Brasil, 2010). Para alcançar um teor alcoólico final de 12% (equivalente a 12° GL), considerou-se que, para cada 1°GL de álcool, são necessários 17 gramas de açúcar para 1 litro do mosto (Guerra *et al*, 2021). Com base nessa relação, foi calculada a quantidade total de açúcar necessária para cada ensaio. Em seguida, subtraiu-se o teor de açúcar já presente no mosto, estimado a partir dos valores de sólidos solúveis. A quantidade de açúcar a ser adicionada em cada ensaio foi então determinada, e os respectivos valores estão apresentados na Tabela 1. Esse processo foi dividido inicialmente nos primeiros ensaios em duas etapas, sendo incorporada ½ da quantidade total da sacarose, e posteriormente, nos ensaios seguintes, em três etapas, sendo adicionado 1/3 da quantidade total nos primeiros dias.

Preparo e adaptação da levedura

A preparação da levedura seguiu as instruções de rotulagem do produto utilizado. A levedura empregada no processo de fermentação foi a *Saccharomyces cerevisiae* (var. *bayanus*), da marca Maurivin, inicialmente na concentração de 0,35 g/L, conforme a faixa recomendada pelo fabricante; após certa dificuldade na fermentação, foi identificada a necessidade de aumentar a quantidade de levedura, com duas formulações propostas: uma de 1,75 g/L e outra de 3,5 g/L. Antes da inoculação, a levedura foi hidratada em estufa da marca Logen a 35°C por 15 minutos. Em seguida, foi preparado

um pé de cuba correspondente a 5% do volume total do mosto, onde a levedura permaneceu por 30 minutos para sua ambientação antes da inoculação no mosto principal.

Sulfitagem

A sulfitagem é um processo que auxilia a inibição do crescimento bacteriano, evitando a competição com as leveduras durante a fermentação (Silva *et al* 2017). Para esse fim, foi utilizado metabissulfito de potássio da marca Neon na concentração de 8 g/hL. O metabissulfito de potássio foi adicionado ao mosto após a chaptalização, e a levedura foi inoculada 2 horas após a adição do conservante. (Rizzon *et al.*, 1994).

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas possibilitam a caracterização da matéria-prima e do produto para verificação dos parâmetros de identidade e qualidade de bebidas alcoólicas fermentadas a fim de garantir o cumprimento da legislação vigente. Todas as análises foram realizadas em triplicata com o intuito de garantir um resultado mais preciso e exato, embasando-se nas metodologias do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). A seguir o Quadro 1 apresenta as análises realizadas e a metodologia aplicada.

Quadro 1 – Relação das análises físico-químicas realizadas e respectivas metodologias

Análises físico-químicas	Metodologia
Determinação de pH	017/IV
Sólidos solúveis totais (SST)	315/IV
Densidade	011/IV
Graduação alcóolica	233/IV
Acidez total	235/IV
Acidez fixa	236/IV
Acidez volátil	237/IV
Extrato seco reduzido	242/IV

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Análise microbiológica

Observou-se que a formulação com maior percentual de suco de caju clarificado em sua composição apresentou menor fermentação que as demais, levando à avaliação do seu possível efeito inibitório. Para a realização da análise, utilizou-se a metodologia proposta por Oliveira *et al.* (2022).

Foram separadas 3 soluções, sendo elas: suco de caju, álcool etílico 70% e água destilada, sendo essas duas últimas destinadas ao controle do experimento. Os discos de papel filtro foram embebidos nas soluções por 20 minutos e, em seguida, colocados na superfície das placas de petri inoculadas com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* (var. *bayanus*) em meio ágar PDA (Potato Dextrose Agar) da marca Becton, Dickinson and Company, ideal para o crescimento de bolores e leveduras. As placas foram devidamente armazenadas em câmara de incubação controlada (BOD – Famem 347 CD), durante o período de 24 a 48 horas, a uma temperatura de 27°C.

Análise de custo

Para a análise dos custos de produção da bebida alcoólica fermentada mista de caju e maçã, utilizou-se como referência o estudo de Brandão et al. (2018), que avaliou os custos envolvidos na produção anual de uma bebida fermentada de umbu-cajá. Esse trabalho serviu como base para a estimativa de alguns custos utilizados neste projeto, proporcionando parâmetros comparativos e permitindo a adaptação dos valores conforme as especificidades da formulação proposta.

Resultados e discussões

Análises das matérias-primas

Foram realizadas as seguintes análises nas matérias-primas, sendo elas: sólidos solúveis (°Brix) e densidade, a fim de verificar se os parâmetros que influenciam o processo fermentativo estavam de acordo com a literatura.

De acordo com Paiva (2010), os valores típicos para o suco de caju clarificado para sólidos solúveis e densidade relativa são respectivamente: 10 °Brix e 1,040 g/cm³. Em outro estudo, Côrtes et al. (2009) encontrou 12,2 de sólidos solúveis (°Brix), sendo que quando comparado com o resultado

obtido na Tabela 1, está próximo da literatura. A diferença encontrada pode ser explicada pelo grau de maturação dos frutos que influenciam os sólidos solúveis e consequentemente a densidade, levando-se em conta que o suco de caju clarificado foi obtido em escala laboratorial. Outro fator que pode ter corroborado para esse resultado é a sazonalidade do fruto, que, de acordo com a Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo, os melhores meses para o desenvolvimento e colheita do caju são setembro e outubro, e o presente estudo ocorreu durante o primeiro semestre de 2025.

De acordo com as análises iniciais descritas na Tabela 1, é possível justificar a utilização do suco de maçã clarificado no processo fermentativo devido à concentração de sólidos solúveis ser maior do que a encontrada no suco de caju clarificado (Paganini, 2004).

Definição da formulação padrão

A Tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos iniciais dos mostos utilizados nos diferentes ensaios realizados para o desenvolvimento da bebida alcoólica fermentada mista.

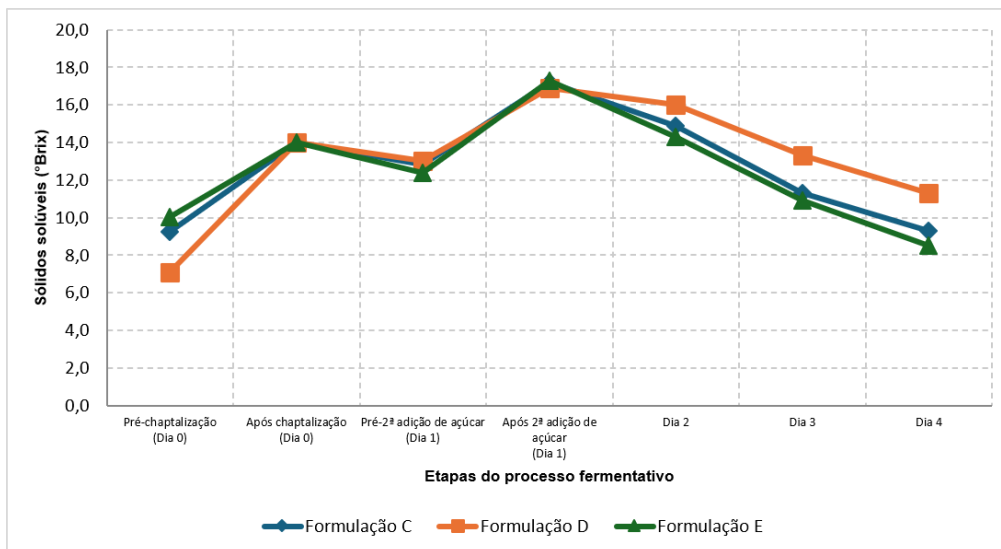
Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos dos mostos obtidos em cada um dos ensaios realizados.

Ensaio	Vol. suco de caju (mL)	Vol. suco de maçã (mL)	Vol. suco de laranja (mL)	Proporção (%)	Sólidos solúveis iniciais do mosto (°Brix)	Densidade mosto* (g/cm ³)	Quant. de levedura (g/L)	Quant. de sacarose adicionada (g)
A	450	-	-	100	9,37±0,26	1035,0	-	-
B	-	450	-	100	11,10±0,08	1040,0	-	-
C	225	225	-	50:50	9,27±0,05	1050,0	0,35	48,00
D	292,5	157,5	-	65:35	7,10±0,08	1040,0	0,35	58,57
E	157,5	292,5	-	35:65	10,03±0,05	1050,0	0,35	44,41
F	135	270	45	30:60:10	11,00±0,00	1050,0	0,35	39,82
G	157,5	292,5	-	35:65	10,60±0,14	1050,0	5,00	41,72
H	135	270	45	30:60:10	10,77±0,05	1050,0	1,75	40,91
I	135	270	45	30:60:10	11,00±0,00	1050,0	3,50	39,82
J	157,5	292,5	-	35:65	10,20±0,75	1050,0	1,75	43,60
K	157,5	292,5	-	35:65	10,20±0,75	1050,0	3,50	43,60

*Não foram realizadas triplicatas
Fonte: elaborado pelos autores (2025).

A partir da avaliação dos teores de sólidos solúveis totais (°Brix) ao longo do processo fermentativo das formulações C, D e E, foram observadas variações distintas no comportamento de consumo de açúcares, que são apresentadas no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Variação dos sólidos solúveis durante a fermentação



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

O Gráfico 2 apresenta os valores de sólidos solúveis durante a fermentação dos ensaios C, D e E, com adição de 50% de açúcar em dois dias distintos (0º dia e 1º dia de fermentação), totalizando 100% de adição. O parâmetro de sólidos solúveis foi monitorado ao longo de quatro dias de fermentação e reflete a concentração de açúcares solúveis presentes no mosto.

Para parametrizar as três formulações, ficou definido que todas deveriam partir do mesmo valor de sólidos solúveis, sendo ajustadas para 14,0 °Brix por meio da adição de sacarose. Garantiu-se igualdade nas condições iniciais das amostras C, D e E, permitindo uma comparação mais precisa do decaimento de açúcares durante os dias analisados.

Conforme os dias foram avançando, houve uma redução progressiva nos valores de °Brix, após a adição de 100% da sacarose da chaptalização. Apesar das amostras não apresentarem características bem acentuadas de bebida fermentada, foi possível observar pequenas evidências de que o processo fermentativo estava ocorrendo como a formação de bolhas e o início de um odor alcoólico. Por exemplo, o ensaio C iniciou-se com 14,0 °Brix no dia zero, passou para 17,2 °Brix no primeiro dia de fermentação, após ser adicionada a outra parte do açúcar (50%) e caiu novamente

para 14,9 °Brix no segundo dia, chegando a 11,3 °Brix no terceiro dia e a 9,3 °Brix no quarto dia. Esse comportamento foi semelhante nos ensaios D e E.

No ensaio D, o teor de sólidos solúveis passou de 14,0 (0º dia) para 11,0 (4º dia), enquanto no ensaio E a redução foi ainda mais expressiva, indo de 14,0 (0º dia) para 8,5 °Brix ao final do processo.

Conforme discutido por Betite (2011), glicose e frutose (açúcares redutores) são rapidamente assimiladas pela *Saccharomyces*, uma vez que essas moléculas são preferidas frente a outros açúcares presentes no meio. Essa diferença na taxa de utilização resulta em uma variação no consumo desses 2 monossacarídeos ao longo do processo fermentativo, justificando a escolha por uma formulação que favoreça essa preferência metabólica.

Dentre as três formulações, os estudos prosseguiram com o ensaio E, que apresentava maior percentual de suco de maçã, o qual, segundo Wosiacki *et al.* (2007), tem $11,51 \pm 1,19$ g/100 mL de açúcares redutores em comparação ao valor de Côrtes *et al.* (2009) do caju com 7,54 g/100 mL. Além disso, essa amostra, em comparação com as demais, apresentou coloração mais intensa e maior liberação de CO₂ na forma de bolhas, sugerindo uma maior atividade metabólica dos microrganismos fermentativos. O odor típico da fermentação alcoólica também foi mais pronunciado, reforçando sua identidade sensorial como uma bebida em estágio de fermentação. No entanto, apesar desses indicadores, o processo fermentativo ainda não foi considerado plenamente eficiente, o que levou o grupo a investigar estratégias para sua otimização.

Nesse contexto, foi realizado o teste de difusão em disco com o objetivo de avaliar se o caju exercia alguma ação inibitória sobre o crescimento das leveduras. As figuras 1 e 2 apresentam os resultados obtidos na análise considerando 24 e 48 horas de incubação em estufa; conforme análise, foi possível observar que não houve formação de halos de inibição no item C, sendo esse disco embebido apenas com suco de caju clarificado, da mesma forma que com H₂O, sendo o controle embebido com água destilada. Foi observado halo de inibição apenas no disco embebido com álcool etílico 70%. Diante desses resultados, descartou-se a hipótese de que compostos antimicrobianos presentes no suco de caju clarificado estivessem inibindo o desenvolvimento do inóculo durante o processo fermentativo.

Montenegro (2012) menciona que a gelatina utilizada na clarificação do suco de caju atua na remoção parcial dos taninos presentes no pseudofruto, compostos com propriedades antimicrobianas e antifúngicas por sua capacidade de precipitar proteínas. No entanto, segundo Couri et al. (2002), essa remoção não é total, sendo observada uma redução de 39% nos taninos totais e de 50% nos taninos hidrolisáveis. Embora a análise de difusão em disco não tenha indicado inibição da levedura pelo suco clarificado, é possível que a menor concentração de taninos tenha contribuído para a morosidade do processo fermentativo. Isso sugere que, mesmo não exercendo ação antimicrobiana direta contra a levedura, os taninos podem desempenhar um papel indireto na eficiência da fermentação, possivelmente por influenciarem o equilíbrio microbiológico ou a estabilidade do meio.

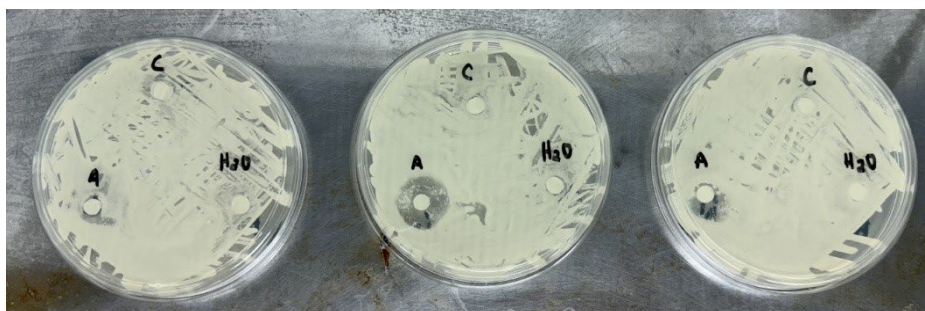
Figura 1 – Resultado da análise de difusão em disco após 24 horas de incubação em estufa.



Legenda: C – Suco de caju clarificado, A - Álcool etílico 70%, H₂O - Água destilada

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Figura 2 - Resultado da análise de difusão em disco após 48 horas de incubação em estufa.



Legenda: C – Suco de caju, A - Álcool etílico 70%, H₂O - Água destilada

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Diante dos desafios observados durante as etapas iniciais de fermentação da bebida, os alunos optaram por adotar uma estratégia de ajuste no ensaio E, a fim de favorecer o desempenho do processo fermentativo. Como alternativa, foi considerada a inclusão de uma terceira fruta à composição original — à base de caju e maçã — de forma a enriquecer o mosto sem comprometer a proposta central do projeto. A escolha da terceira fruta teve como objetivo identificar uma

variedade com histórico positivo em fermentações, conforme evidenciado por trabalhos acadêmicos. Estudos como o de Nucci *et al.* (2024) demonstraram que o fermentado de laranja apresenta características físico-químicas em conformidade com a legislação, sendo uma alternativa viável para a indústria de bebidas.

Diante disso, foi desenvolvido o ensaio F contendo 60% de maçã, 30% de caju e 10% de laranja, com o objetivo de avaliar o comportamento do processo fermentativo nessa combinação. O mosto com a nova formulação apresentou teor inicial de sólidos solúveis de 11 °Brix, que posteriormente passou pela etapa de chaptalização, realizada em duas etapas sucessivas. Após quatro dias de fermentação, observou-se uma redução para 8,0 °Brix, indicando consumo de açúcares pelas leveduras. Observou-se leve formação de bolhas e leve aroma alcoólico, além do aroma típico da laranja, devido aos compostos voláteis remanescentes do suco (Machado, 2010). No entanto, em comparação com os ensaios C, D e E, a adição de 10% não resultou em fermentação efetiva, uma vez que o odor alcoólico esteve pouco perceptível e a queda de sólidos solúveis não foi muito significativa.

Segundo Góes-Favoni *et al.* (2018), a fermentação alcoólica é dividida em três fases. A primeira, denominada fase preliminar, tem início com a adição do substrato às células. Nessa etapa, ocorre intensa multiplicação celular, sendo o açúcar utilizado como fonte de energia para esse crescimento. Esse comportamento foi semelhante ao observado nos ensaios C, D, E, e F, que apresentaram sinais característicos dessa fase inicial: queda nos sólidos solúveis e baixa produção de etanol e CO₂. Ainda conforme Góes-Favoni *et al.* (2018), uma das estratégias para reduzir a duração da fase preliminar e avançar mais rapidamente para as fases seguintes, nas quais há maior liberação de CO₂ e produção de etanol, é o aumento da concentração de leveduras. Com base nisso, levantou-se a hipótese de aplicar essa abordagem nas próximas amostras.

Foi elaborada uma estratégia similar ao processo desenvolvido por Medeiros (2022), que utilizou uma solução glicosilada atuando como pé de cuba da fermentação (levedura + solução de glicose), com o intuito de ambientar e estabilizar o microrganismo, favorecendo posteriormente o processo fermentativo. Esta escolha está diretamente relacionada aos resultados evidenciados por Berthels *et al.* (2004), em que foi possível observar a preferência do consumo de glicose pela levedura durante a fermentação utilizando diversas cepas de *S. cerevisiae* incluindo a *var. Bayanus*.

Diante destes aspectos, deu-se sequência ao teste partindo de uma solução de glicose 10%, a fim de verificar o desenvolvimento do inóculo baseado em sua concentração. Seguiu-se adicionando a quantidade de levedura prescrita pelo fabricante (0,35 g/L), deixando-a inicialmente em estufa na temperatura ótima do microrganismo (cerca de 35°C), decorrente de sua sensibilidade em faixas de temperatura superiores mencionadas por Góes-Favoni *et al* (2018). Após seis horas, a solução foi transferida para a temperatura ambiente por um período médio de 48 horas. A partir deste período, observou-se que o desenvolvimento da levedura apresentou resultados indesejáveis, havendo poucos indicativos de multiplicação celular e/ou características de fermentação, fazendo com que a hipótese levantada por Góes-Favoni *et al.* (2018) pudesse ser validada. Desta forma, concluiu-se que a quantidade de levedura não foi suficiente para corroborar o processo fermentativo, fazendo com que o estudo pudesse ser prolongado visando identificar a concentração adequada deste inóculo.

Com base nos resultados do teste de glicose, foi elaborada uma nova amostra com o objetivo de avaliar se o aumento na concentração de leveduras poderia acelerar o processo fermentativo. Como referência, foi considerado o estudo de Paula *et al.* (2012), que utilizou polpa comercial de umbu e inoculou 20 g de levedura por litro de mosto. Nesse experimento, observou-se uma redução significativa dos sólidos solúveis de 10 °Brix para 3,4 °Brix em apenas 30 horas, com teor alcoólico final de 5,9%, demonstrando que altas concentrações de inóculo podem, de fato, acelerar a fermentação.

Inspirado nesse resultado, desenvolveu-se o ensaio G, utilizando-se 5 g/L de levedura. Após a primeira etapa da chaptalização, o mosto apresentava 13,1 °Brix, que foi reduzido para 2,6 °Brix ao final de quatro dias de fermentação. O odor alcoólico estava evidente, mas veio acompanhado de um cheiro desagradável, associado ao aroma característico das leveduras. Esse efeito se deve ao aumento da biomassa, o que é comum durante o processo fermentativo (Silva, 2022). Através dos ensaios de fermentação realizados a partir do delineamento de diversas formulações, os resultados apresentados nos ensaios H, I, J e K possibilitaram selecionar a formulação padrão com o intuito de dar continuidade ao estudo da bebida.

Os ensaios I e K contendo 10x a concentração de levedura inicial (3,5 g/L) apresentaram-se, a partir das percepções do grupo, com um aroma residual característico, além da presença de sabor indesejado decorrente da laranja e do álcool. Estes aspectos podem ser explicados a partir dos

estudos de Bier (2016), em que a presença de terpenos como o limoneno, componente presente devido à migração de óleo essencial proveniente da casca no momento da extração do suco de laranja, pode ser metabolizado pelo microrganismo, gerando características *off flavor* ao produto, conforme observado. No caso do ensaio K, foi perceptível uma maior presença de álcool, prejudicando consequentemente o perfil sensorial do fermentado como um todo. A partir disso, foi decidido não prosseguir com estas formulações.

No caso dos ensaios H e J contendo 5x (1,75 g/L) a concentração de levedura inicial, a formulação com somente caju e maçã apresentou um conjunto de características desejáveis principalmente relacionadas ao sabor e odor. A formulação com laranja, neste caso, apresentou aroma indesejado menos significativo em comparação à observada na concentração 10x maior do inóculo, porém ainda perceptível, fazendo com que ela fosse desconsiderada pela equipe.

Desta forma, realizando um panorama geral dos aspectos levados em consideração durante o processo de seleção dos ensaios, optou-se por dar prosseguimento ao ensaio J, representado pela figura 3, com o intuito de avaliar mais a fundo suas características.

Figura 3 – Fermentado alcoólico misto de caju e maçã clarificados (ensaio J).



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

O ensaio J apresentou um valor inicial de sólidos solúveis de 10,2 °Brix. Após a adição de 33% da quantidade de sacarose calculada para a chaptalização, os sólidos solúveis aumentaram para 14 °Brix. Durante os quatro dias seguintes, foram realizadas mais duas adições de 33% da sacarose prevista. Ao final desse período, o valor de sólidos solúveis foi reduzido para 3,8 °Brix, indicando que houve o consumo dos açúcares pelas leveduras durante o processo fermentativo.

A legislação não estabelece um limite específico de sólidos solúveis para bebidas fermentadas; no entanto, os valores do fermentado de caju obtidos por Torres *et al.* (2006), com 3,6 °Brix após dois dias de fermentação, foram semelhantes, embora ligeiramente superiores aos observados na amostra do grupo. Essa diferença pode estar relacionada à maior concentração de levedura utilizada por Torres *et al.* (2006), que foi de 20 g/L, o que pode ter acelerado o consumo dos açúcares durante o processo fermentativo.

De acordo com Medeiros (2022), o pH das bebidas alcoólicas está relacionado com a composição de substâncias que liberam íons H⁺, ou seja, substâncias ácidas. De acordo com Dias *et al.* (2003), valores ideais de pH para fermentados de frutas podem variar de 2,8 a 4,2, dependendo do mosto em questão. O pH inicial do mosto pré-fermentação para a formulação definida como padrão foi de 4,10; após 4 dias de fermentação, o pH final era de 3,68. Medeiros (2022), em seu estudo de fermentado alcoólico de caju, encontrou os seguintes valores: 3,97±0,02 para o tratamento A, e 3,73±0,02 para o tratamento B. Para Nogueira *et al.*, (2006), os valores encontrados para fermentados alcoólicos de maçã foram de 3,37 a 4,10, e para Hornes *et al.*, (2021), em seu estudo de diferentes fermentados de frutas, para maçã, laranja e manga, têm-se os seguintes resultados respectivamente: 3,64, 3,32 e 3,53. Conforme os resultados observados na literatura, o valor encontrado na formulação de 3,68 foi considerado satisfatório, tendo em vista que a legislação brasileira não estabelece uma faixa para o parâmetro de pH.

Análises do produto final

A bebida fermentada alcoólica mista, segundo Brasil (2010), deve apresentar sua composição química dentro dos limites estabelecidos na regulamentação, garantindo que o produto atenda às normas de qualidade e segurança previstas pela legislação. Dessa forma, a Tabela 3 expõe os resultados das análises físico-químicas do fermentado, assim como os padrões de identidade e qualidade exigidos pela Instrução Normativa nº 35, de 18 de novembro de 2010.

Tabela 3 – Dados analíticos da bebida fermentada alcoólica de caju e maçã

Componentes	Bebida Fermentada Alcoólica	IN nº 35/2010	
		Mínimo	Máximo
Graduação alcoólica em % v/v a 20°C	10,2	4	14
Acidez total, em mEq/l	60,3	50	130
Acidez fixa, em mEq/l	56,7	30	-
Acidez volátil, em mEq/l	4,7	-	20
Extrato seco reduzido, em g/l	52,7	7	-

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Segundo Medeiros (2022), o álcool é considerado o produto mais relevante no processo fermentativo, pois altera a fixação de aromas e viscosidade nas bebidas. O teor alcoólico encontrado na formulação padrão foi de 10,2% (v/v) e está de acordo com o indicado pela legislação brasileira, que estabelece uma faixa de 4 a 14% (v/v) a 20°C para bebidas alcoólicas fermentadas mistas. Esse resultado corrobora o resultado encontrado por Segtowick et al., (2013) e Hornes et al., (2021), sendo de 10,28% (v/v) para o fermentado de suco de acerola, que verificaram(constataram) 8,0; 10,0; 13,0 e 11,5% (v/v) para os fermentados de maçã, amora, morango e caju, respectivamente.

Os valores obtidos da acidez total, volátil e fixa mostraram ser compatíveis com os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 35/2010. A acidez total variou entre 60,0 e 61,0 mEq/L, estando acima do limite mínimo exigido pela legislação, que é de 50 mEq/L. Nos resultados avaliados na bebida fermentada de caju desenvolvida por Medeiros (2022), a acidez total apresentou um valor de 63 mEq/L, semelhante ao encontrado neste trabalho. Segundo Torres et al. (2006), as baixas concentrações de acidez total em fermentados de caju geram um produto com características mais macias, estruturadas e aroma mais complexo.

Quanto à acidez volátil, os valores observados foram de 5,0 e 4,0 meq/L, estando bem abaixo do limite máximo permitido de 20 meq/L (Brasil, 2010). Esses resultados indicam que o processo fermentativo ocorreu de forma adequada, sem indícios de contaminação por microrganismos indesejáveis, como o gênero *Acetobacter*, frequentemente associado à produção de ácido acético em níveis elevados. A partir disso, o processo caracteriza-se pela adequada higiene e por ser um

produto sensorialmente adequado ao paladar apresentando baixa probabilidade de sofrer uma transformação acética (Tôrres, 2010).

De acordo com Duarte et al. (2018), a acidez fixa representa a soma dos ácidos málico, tartárico, cítrico, láctico, succínico e ácidos inorgânicos, sendo calculada pela diferença entre a acidez total e a volátil. O fermentado misto de caju com maçã apresentou valores de 55 e 57 meq/L, sendo que na literatura foram encontrados valores similares para um fermentado de banana Nanica, com 53,53 meq/L (Duarte et al., 2018) e vinho de goiaba branca, 55,39 meq/L (Batista et al., 2019). Seguindo a legislação de fermentados de frutas, a acidez fixa está conforme com o mínimo de 30 meq/L permitido (Brasil, 2010).

Segundo Asquieri et al. (2008), o extrato seco reduzido pode ser considerado uma característica físico-química relacionada ao corpo de bebidas alcoólicas fermentadas como o vinho, por exemplo. Com relação à formulação padrão, o valor obtido foi de 52,7 g/L, estando em conformidade com o limite mínimo instituído pela legislação vigente. Em comparação com outras literaturas, foram encontrados valores de 24,34 g/L para a bebida fermentada de acerola Segtowitz et al., (2013), diferindo-se da formulação proposta, bem como um valor de 59,83 g/L encontrado no fermentado alcoólico de melão (Bessa et al., 2018), sendo bem similar ao observado no estudo. As variações comumente vistas no extrato seco reduzido podem ser explicadas a partir dos estudos de Bessa et al. (2018), em que a matéria-prima, assim como o processo fermentativo propriamente dito, podem resultar na instauração de compostos como pigmentos, minerais e açúcares residuais oriundos da fermentação ao meio, interferindo diretamente no valor final.

Análise de custo

Com base no estudo de Brandão et al. (2018), foi estimado um volume mensal de 2.800 L de mosto, considerando-se um rendimento de 60%, o que resultaria em aproximadamente 1.680 L de bebida fermentada, envasada em garrafas de 1 L. Essa estimativa seguiu os parâmetros estabelecidos por Brandão et al. (2018), permitindo a adoção de seus dados como referência para a identificação e contabilização dos custos. Os valores referentes aos insumos e matérias-primas utilizados na preparação do mosto correspondem aos gastos reais realizados pela equipe, conforme apresentado na Tabela 4. Já os custos com mão de obra foram estimados com base em pesquisas de mercado, também detalhadas na Tabela 5.

Para os cálculos referentes aos custos com energia e água durante a produção do fermentado alcoólico de caju e maçã, foram adotados os valores descritos por Brandão *et al.* (2018), que totalizam R\$ 4.700,00.

Tabela 4 - Custo de insumos e matérias-primas relacionados à produção mensal de bebida alcóolica fermentada de caju e maçã

Item	Quant.	Unidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Caju médio	13.700	un	3,67	50.279,00
Suco de maçã clarificado	1.820	L	28,00	50.960,00
Gelatina	1,38	kg	78,90	108,88
Sacarose	309	kg	4,81	1.486,87
Levedura (<i>Saccharomyces</i>)	4,90	kg	305,00	1.494,50
Metabissulfito de potássio	0,22	kg	420,00	92,40
Garrafas	1.680	un	4,16	6.985,99
Rolha	1.680	un	0,45	755,83
			Total	112.163,48

Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Tabela 5 - Custo de mão de obra relacionada a produção mensal de bebida alcóolica fermentada de caju e maçã

Item	Quant.	Salário (R\$)	Encargos (R\$)	Custo mensal (R\$)
Engenheiro	1	5.500,00	1.805,10	7.305,10
Analista de Qualidade	2	3.200,00	1.050,24	8.500,48
Assistente Administrativo	1	2.100,00	689,22	2.789,22
			Total	18.594,80

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 6 - Custo de insumos e matérias-primas relacionados à produção mensal de bebida alcóolica fermentada de caju e maçã

Custo total (mês)	R\$	135.458,28
Custo unidade	R\$	82,09
Lucro	R\$	16,41
Total	R\$	98,50

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Conforme mostrado na Tabela 6, o custo final estimado para a bebida fermentada desenvolvida neste projeto foi estimado em R\$ 98,50/L. Para fins comparativos, observou-se que, em 2025, o espumante de caju da marca Alquimista da Caatinga, com 750 mL, era comercializado por R\$ 189,00, enquanto a sidra de maçã da marca Cereser, com 660 mL, apresentou preço médio de R\$ 27,54. É importante considerar que os custos estimados refletem a escala piloto do projeto. As matérias-primas e os insumos foram adquiridos em pequena escala, como no caso dos cajus comprados em feiras locais de Santo André, o que naturalmente elevou o custo unitário. Em uma futura produção em escala industrial, com a aquisição de volumes maiores e negociação direta com fornecedores, os custos tendem a ser significativamente reduzidos.

Segundo a Embrapa (2022), a cultura do caju apresenta um baixo nível de aproveitamento do pedúnculo, com índices de desperdício que variam entre 80% e 90%. Assim, uma alternativa viável para reduzir os custos de produção seria o estabelecimento de parcerias com agricultores que atualmente descartam o pedúnculo do caju, promovendo o aproveitamento de um subproduto agrícola abundante e subutilizado.

Considerações finais

O trabalho demonstrou a viabilidade técnica da produção de uma bebida alcoólica fermentada mista elaborada com sucos clarificados de caju e maçã. A formulação selecionada apresentou graduação alcoólica de 10,2% v/v e parâmetros físico-químicos em conformidade com a legislação vigente. A adequação da proporção entre os sucos, da concentração de levedura e da quantidade de sacarose favoreceu o desenvolvimento do processo fermentativo.

A estimativa de custos indicou um valor elevado para o produto, principalmente em razão da produção em escala piloto e da aquisição de matérias-primas em pequenas quantidades. Entretanto, esse custo poderá ser reduzido em uma eventual produção industrial. Assim, a bebida desenvolvida apresentou potencial de aproveitamento do pedúnculo do caju, matéria-prima ainda subutilizada. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de análises sensoriais, testes de estabilidade e uma avaliação econômica mais detalhada em escala industrial.

Referências

- ASQUIERI, Eduardo Ramirez *et al.* Fermentado de jaca: estudo das características físico-químicas e sensoriais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 881-887, dez. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612008000400018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/Gqh8Fn68jhwCWQLK9NKtzLM/?format=html>. Acesso em: 24 mai. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ. **Maçã**. 2025. Disponível em: <https://www.abpm.org.br/>. Acesso em: 05 mai. 2025.
- BATISTA, Ângela Maria *et al.* Desenvolvimento do fermentado alcoólico do fruto goiaba branca (*Psidium guajava*) cv. Kumagai – Myrtaceae. **Inovação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], p. 121-132, 9 out. 2019. Atena Editora. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.00019091013>. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/inovacao-em-ciencia-e-tecnologia-de-alimentos>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- BERTHELS, Nele *et al.* Discrepancy in glucose and fructose utilisation during fermentation by wine yeast strains. **Fems Yeast Research**, [S.L.], v. 4, n. 7, p. 683-689, maio 2004. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1016/j.femsyr.2004.02.005>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15093771/>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- BESSA, Mizaél Augusto Diógenes *et al.* Bebida alcoólica fermentada de melão (*Cucumis melo* L.): processamento e caracterização. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 21, n. 8, 14 nov. 2018. Desconhecida. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.21717>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/pgy6MHpGGHQmLPBjngyXmrJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 07 abr. 2025.
- BETITE, Vivia Cristina. **Comportamento fermentativo de linhagens industriais de *Saccharomyces cerevisiae* em mosto com diferentes concentrações de sacarose e fontes estruturalmente complexas de nitrogênio**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/bf9182b7-8f3e-4809-ae1d-14be7d10f3e5>. Acesso em: 24 mai. 2025
- BIER, Mário César Jucoski. **Biotransformação de limoneno: produção de compostos de aromas e fragrâncias, caracterização e investigação de suas propriedades bioativas**. 2016. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/1884/56939?mode=full>. Acesso em: 31 maio 2025.
- BRANDÃO, Taís Silva de Oliveira *et al.* Economic and financial feasibility study for the implementation of a micro industry producing umbu-caja (*Spondias bahiensis*) fermented alcoholic beverage. **Custos e Agronegócio online**, v. 14, n. 3, p. 81–95, jul./set. 2018. Disponível em: <https://www.custoseagronegocioonline.com.br>. Acesso em: 25/05/2025.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 35, de 16 de novembro de 2010**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Agropecuária, [2010]. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=77850#:~:text=Norma%20Federal%20%20Publicado%20no%20DO%20em%2017,por%20mistura%2C%20comercializadas%20em%20todo%20o%20territ%C3%B3rio%20nacional>. Acesso em: 07 mar. 2025.
- BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Agropecuária, [2009]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20072010/2009/Decreto/D6871.htm#:~:text=DECRET O%20N%C2%BA%206.871%2C%20DE%204%20DE%20JUNHO%20DE,inspe%C3%A7%C3%A3o%2C%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20a%20fiscaliza%C3%A7%C3%A3o

C3%A3o%20de%20bebidas. Acesso em: 07 mar. 2025.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 3.484, de 9 de setembro de 2024**. Institui a Política Nacional de Incentivo à Cajucultura de Qualidade e dá outras providências. Espírito Santo, ES: Câmara dos Deputados, [2024]. Disponível em:

https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2474053&file=e=PL%203484/2024. Acesso em: 07 mar. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análise Mensal Castanha de Caju**. Brasília, DF: CONAB, 2024. Disponível em:

https://www.conab.gov.br/agricultorafamiliar/paanet/entregas/item/download/56091_0b170db3acbc2a3323c5f645f0dfd7a5. Acesso em: 07 mar. 2025.

CÔRTEZ, Simone de Lima *et al.* **Teor de açúcares em oito diferentes tipos de frutas**: teor de açúcares em oito diferentes tipos de frutas. 2016. 1 f. Curso de Química Tecnológica, 56º Congresso Brasileiro de Química, Belém (Pará), 2016. Disponível em:

<https://www.abq.org.br/cbq/2016/trabalhos/9/9416-22944.html>. Acesso em: 10 mar. 2025.

COURI, Sonia. *et al.* Comparação entre os tratamentos com tanase e com gelatina para clarificação do suco de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 4154, 30 jun. 2002. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/cep.v20i1.1134>. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/415921>. Acesso em: 31 mar. 2025.

DIAS, Disney Ribeiro. *et al.* Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 342-350, dez. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612003000300008>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cta/a/sm6CTWrTDDcsh77kVVgbPTS/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 abr. 2025.

DUARTE, Lucimar Gomes Oliveira *et al.* Desenvolvimento e análises físico-químicas do fermentado alcoólico da polpa de banana nanica

(*musa spp.*). **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000132, 18/09/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/desenvolvimento-eanalises-fisico-quimicas-do-fermentado-alcoolico-da-polpa-de-banana-nanica> . Acesso em: 11 mai. 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Caju**. 2022. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/caju#navegue-pelaarvore>. Acesso em: 07 mar. 2025.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. **Alcoholic Drinks: Euromonitor from trade sources/national statistics** [S.L.]: Euromonitor International, 2024. Disponível em:

<https://www.euromonitor.com/solutions/passport>. Acesso em: 15 out. 2024.

GÓES-FAVONI, Silvana Pedroso de *et al.* Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 285-296, 23 maio 2018. Editoriais Iberoamericanos. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.004.0023>. Disponível em:

<https://sustenere.inf.br/index.php/rca/article/view/CBPC2179-6858.2018.004.0023>. Acesso em: 09 abr. 2025

GUERRA, Celito Crivellaro *et al.* **Uva para Processamento**: Processo de elaboração. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacaotecnologica/cultivos/uva-para-processamento/pos-producao/processamento-da-uva/aspectosagroindustriais/vinho/processo-de-elaboracao>. Acesso em: 25 mai. 2025.

HORNES, Marcio *et al.* Estudo comparativo entre fermentados de diferentes frutas. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 108-112, 21 maio 2021. Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas. <http://dx.doi.org/10.18378/rebagro.v12i2.8979>. Disponível em:

https://www.academia.edu/95192418/Estudo_comparativo_entre_fermentados_de_diferentes_rutas . Acesso em: 20 abr. 2025

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008. 1000 p. Disponível em: <http://repositorio.asces.edu.br/handle/123456789/2001>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MACHADO, Talita Vieira *et al.* **Avaliação sensorial e físico-química do suco de laranja proveniente das etapas do processamento do Suco concentrado e congelado**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2010. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/294073d6-59c2-4baa-bd3c>. Acesso em: 24 mai. 2025.

MAGALHÃES, Roberto Fumian Simas de *et al.* Análises físico-químicas e de rotulagem de marcas comerciais brasileiras de néctar de frutas com adição de suco de maçã para adoçar. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 327-345, 8 jun. 2023. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i6.41632>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/41632>. Acesso em: 04 mar. 2025.

MEDEIROS, Alberto Augusto Bezerra de. **Elaboração de bebida fermentada de caju (Anacardium Occidentale L.) como alternativa para a redução dos desperdício do pseudofruto na região nordeste do Brasil**. 2022. 17 f. TCC (Graduação) - Curso de PósGraduação em Tecnologias de Bebidas Alcoólicas, Instituto Federal Santa Catarina, Urupema, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2703>. Acesso em: 12 mai. 2025.

MONTENEGRO, Manuela Almeida. **Efeito do extrato do bagaço do pedúculo de caju (Anacardium occidentale L.) contra Streptococcus mutans**. 2012. 71 f. Dissertação. (MESTRADO EM BIOTECNOLOGIA) - Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2012. Diponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/26138>. Acesso em: 12 mai. 2025

NOGUEIRA, Alessandro *et al.* **Características físico-químicas e sensoriais de suco de maçã clarificado e fermentado**. Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng., Ponta Grossa, p. 16-23, 23 dez. 2006. Desconhecida. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/exatas/article/view/870>. Acesso em: 15 mai. 2025

NUCCI, Nathalia Alves Ramalho *et al.* Caracterização do fermentado de laranja e cinética do processo fermentativo. **Journal Unoeste**, [S. L.], v. 16, n. 1, p. 1-10, 23 out. 2024. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ce/article/view/4901/3713>. Acesso em: 25 mai. 2025.

OLIVEIRA, Gabriela Toniatti *et al.* **Influência da utilização da borra de café na produção de aguardente composta**. 2022. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, São Bernardo do Campo, 2022. Disponível em: <https://cefsa.bnweb.org/bnportal/em/pt-BR/search/62937?exp=Influ%C3%Aancia%20da%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20borra%20de%20caf%C3%A9%20na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20aguardente%20composta>. Acesso em: 5 nov. 2024

PAGANINI, Cícero *et al.* Análise da aptidão industrial de seis cultivares de maçãs, considerando suas avaliações físico-químicas (dados da safra 2001/2002). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 1336-1343, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/jvZ6xDM5GyDXvBkPn6pcpqd/?lang=pt>. Acesso em: 24 mai. 2025

PAIVA, Francisco Fábio de Assis. **Processamento do Pedúnculo de Caju: suco de caju clarificado**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. 32 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/881622/1/DO10004.pdf>. Acesso em: 24 mai. 2025.

PAULA, Breno de *et al.* Produção e caracterização físico-química de fermentado de umbu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1688-1693, set. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/VDfXRjSKwQRhv6yjQdtF4Vf/>. Acesso em: 05 mai. 2025.

PEREIRA, Danilo Aparecido *et al.* Fatores que afetam a fermentação alcoólica. **Revista Ciência e Tecnologia**, Jaboticabal, v. 12, n. 1, p. 44-55, 17 dez. 2020. Desconhecida. Disponível em: <https://publicacoes.fatecjaboticabal.edu.br/citec/article/view/113/72>. Acesso em: 24 mai. 2025.

RIZZON, Luiz Antenor *et al.* **Como elaborar vinho de qualidade na pequena propriedade**. Bento Gonçalves: Embrapa-CNPUV, 1994. 36 p. (Embrapa-CNPUV. Documentos, 12). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/538473/1/CNPUVDOC.1294.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SANTOS, Ana Thaís Vasconcelos *et al.* A fartura do desperdício. **Equatorial – Revista do Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social**, [S.L.], v. 9, n. 16, p. 1-12, 20 jan. 2022. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2446-5674.2022v9n16id24881>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/359146069_A_fartura_do_desperdicio_The_planty_of_waste_La_abundancia_de_desechos_ENSAIO_VISUAL. Acesso em: 04 mar. 2025.

SEGTOEWICK, Edilene Cléa dos Santos *et al.* Avaliação físico-química e sensorial de fermentado de acerola. **Brazilian Journal Of Food Technology**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 147-154, 14 jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1981-67232013005000015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/9WMZJV8Zjdbb45jbCxRDfsx/>. Acesso em: 27 mai. 2025.

SILVA, Jonas Luiz Almada da *et al.* Fermentado alcoólico de umbu: produção, cinética de fermentação e caracterização físico-química. **Holos**, [S.L.], v. 2, p. 108-121, 29 ago. 2017. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.4506>. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4506>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SILVA, Rebeca de Almeida. **Bioprocessos**. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 08 mar. 2025.

TÔRRES, Adamastor Rodrigues. **Determinação da acidez total de vinhos tintos empregando titulações baseadas em imagens digitais**. 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7168>. Acesso em: 10 mar. 2025.

TORRES, Alberto B. Neto *et al.* **Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.)**. **Química Nova**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 489-492, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422006000300015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bgr4CG5ZKC6JmKF7bL85dNB/>. Acesso em: 15 mai. 2025.

WOSIACKI, Gilvan *et al.* Composição de açúcares em sucos de maçãs despectinizados. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 645, 30 ago. 2007. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2007v28n4p645>. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/2894/2452>. Acesso em: 20 mai. 2025.

Nova rotulagem nutricional de alimentos e sua contribuição para os ODS: um estudo com base na teoria da mudança

New nutritional labeling of foods and their contribution to the SDGs: A study based on the theory of change

Engenharia de Alimentos

Ilana Racowski ((pro6389@cefsa.edu.br))

*Doutora em Biotecnologia pela Universidade de São Paulo (USP)
e professora da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.*

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026
- ISSN 2525-8729

Submissão: 5 fev. 2026 Aceitação: 17 jun. 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 84 – p. 108

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

Desde 8 de outubro de 2022, os alimentos processados passaram a seguir a nova legislação estabelecida pela ANVISA sobre rotulagem nutricional, a RDC nº 429 e a Instrução Normativa (IN) nº 75, de 8 de outubro de 2020. Essas normativas estão alinhadas com parte do Plano Dant, implementado pelo Ministério da Saúde em 2021. Em ambos os casos o motivo da implementação visa a redução do número de doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs), que já representam mais de 50% das enfermidades e óbitos no Brasil. Pensando em contribuir para a melhoria dessa situação, o propósito deste estudo foi aplicar a Teoria da Mudança (ToC) para identificar métricas que possam avaliar se a implementação da nova legislação está influenciando a conscientização dos consumidores, suas escolhas alimentares, sua saúde e finalmente a sustentabilidade identificada pela implementação dos ODS da Agenda 2030. A pesquisa qualitativa, realizada por meio da metodologia ToC, que envolveu a identificação de insumos, atividades e resultados esperados, permitiu a definição de 6 métricas, capazes de medir o impacto gerado pela mudança da nova rotulagem. Destas, 4 delas (Adoção de Rotulagem, Taxa de Reconhecimento da Nova Rotulagem, Taxa de Participação em Campanhas e Aumento no Consumo de Alimentos Minimamente Processados) se mostraram mais adequadas para medir os resultados almejados, sendo que nelas há evidências de que o consumidor tem um papel muito importante para que a trajetória das DCNTs mude. Além disso, a implementação da nova legislação permitiu identificar, pela Teoria da Mudança, que é possível acelerar o engajamento nos ODS 2, 3, 9, 12 e 17.

Palavras-chave: Tabela nutricional. DCNTs. Métricas. Selos de advertência. Lupa nutricional. Selo de advertência frontal.

Abstract

Since October 8, 2022, processed foods have followed the new legislation established by ANVISA on nutritional labeling, RDC No. 429 and Normative Instruction (IN) No. 75, of October 8, 2020. These regulations are in line with part of the Dant Plan, implemented by the Ministry of Health in 2021. In both cases, the reason for implementation is to reduce the number of chronic non-communicable diseases (CNCDs), which already account for more than 50% of illnesses and deaths in Brazil. In order to contribute to this situation, the purpose of this study was to apply the Theory of Change (ToC) to identify metrics that can assess whether the implementation of the new legislation is influencing consumer awareness, their food choices, their health and ultimately the sustainability identified by the implementation of the SDGs of the 2030 Agenda. The qualitative research carried out using the ToC methodology, which involved identifying inputs, activities and expected results, enabled the definition of 6 metrics capable of measuring the impact generated by the change to the new labeling. Of these, 4 (Adoption of Labeling, Rate of Recognition of the New Labeling, Rate of Participation in Campaigns and Increase in Consumption of Minimally Processed Foods) proved to be the most suitable for measuring the desired results, and in these there is evidence that the consumer has a very important role to play in changing the trajectory of NCDs. In addition, the implementation of the new legislation has made it possible to identify, through the Theory of Change, that it is possible to accelerate engagement in SDGs 2, 3, 9, 12 and 17.

Keywords: Nutritional table. NCDs. Metrics. Warning labels. Nutritional magnifying glass. Front warning label.

Introdução

As doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs) configuram as principais doenças responsáveis por mais da metade de mortes no Brasil (Brasil, 2021). Caracterizadas como doenças do aparelho circulatório, neoplasias malignas, diabetes mellitus e doenças respiratórias crônicas, são muitas vezes agravadas em pessoas que apresentam sobrepeso e obesidade, hipertensão arterial e níveis elevados de colesterol.

Nos últimos anos, o aumento do número de pacientes com essas doenças tem gerado uma preocupação crescente, especialmente em países em desenvolvimento, onde os padrões alimentares inadequados estão diretamente relacionados a esses problemas de saúde. De acordo com a pesquisa Vigitel de 2023, cerca de 61,4% da população apresenta obesidade ou sobrepeso (Brasil, 2024).

A alimentação desbalanceada, rica em alimentos ultraprocessados (que geralmente fornecem altas quantidades de açúcar, gorduras, conservantes e sódio), tem sido apontada como um dos principais fatores responsáveis pela prevalência dessas condições. Nesse cenário, a rotulagem nutricional emerge como uma estratégia relevante para informar os consumidores e orientá-los a fazer escolhas alimentares mais saudáveis, contribuindo para a prevenção e controle dessas doenças.

No Brasil, a implementação da nova rotulagem nutricional, que começou em 8 de outubro de 2022 através da RDC nº 429 e a Instrução Normativa – IN nº 75, de 2020 (Brasil, 2020), representa um avanço significativo na promoção de hábitos alimentares mais conscientes. Essa reformulação traz símbolos mais visíveis e de fácil compreensão, como o "selo de alerta", com o objetivo de informar rapidamente o consumidor sobre os níveis de nutrientes críticos nos alimentos, como açúcares, gorduras saturadas e sódio. Essa medida busca, portanto, reduzir os índices de obesidade e outras doenças relacionadas ao consumo excessivo de produtos inadequados, além de incentivar uma alimentação mais equilibrada.

Dessa forma, pode-se dizer que a nova rotulagem se insere em um contexto de políticas públicas voltadas para a melhoria da saúde pública, como já está implícito no Plano Dant,

elaborado pelo Ministério da Saúde em 2021 e alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 3 (Saúde e Bem-estar), objetivo este pertencente à Agenda 2030 voltada para o desenvolvimento sustentável elaborada pela ONU e países membros em 2015 (Burigoçorto, 2021).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é, por meio da Teoria da Mudança, identificar as métricas que poderiam ser aplicadas ao processo de implementação da nova rotulagem de alimentos embalados no mercado. Essas métricas visam entender se o consumidor está adquirindo entendimento sobre o verdadeiro propósito do novo design das embalagens e se elas estão influenciando sua decisão de compra, considerando a saudabilidade dos produtos e a sustentabilidade alinhada com os objetivos da Agenda 2030 e seus ODS.

Vale dizer que a Teoria da Mudança é uma ferramenta útil para explicar o caminho para se alcançar uma mudança desejada, identificando os recursos necessários, as condições pré-existentes e os processos de transformação que são esperados para ocorrer ao longo do tempo.

É frequentemente utilizada em projetos de desenvolvimento social, educacional, ambiental e corporativo, para ajudar a entender como as mudanças podem ser efetivamente implementadas e avaliadas.

Referencial teórico

Teoria da Mudança

A Teoria da Mudança (Theory of Change – ToC) tem se consolidado como uma metodologia de planejamento estratégico essencial para a criação, implementação e avaliação de políticas e programas sociais. Esta abordagem oferece um arcabouço para mapear, de forma detalhada, os caminhos pelos quais uma intervenção pode gerar os resultados desejados, identificando as condições necessárias e as relações de causa e efeito entre ações e impactos (Breuer et al., 2015; Barki et al., 2023). O conceito central da ToC é entender não apenas os resultados desejados, mas também as condições intermediárias que precisam ser alcançadas

para que os resultados se concretizem, e como essas condições podem ser transformadas por meio de intervenções específicas (Gertler et al., 2018).

A ToC é estruturada por um processo que começa com a definição do impacto final desejado e passa pela construção de uma linha do tempo lógica que conecta ações, outputs, resultados intermediários e, por fim, o impacto esperado (Peta, 2018). Essa lógica causal é frequentemente representada por diagramas e/ou fluxogramas, que ilustram como as intervenções se articulam para alcançar as metas estabelecidas. Para garantir a eficácia da ToC, é crucial identificar de forma clara as suposições que sustentam a transformação desejada, ou seja, as condições externas ou internas que se supõem necessárias para o sucesso da intervenção (Piras et al., 2022).

Um aspecto central da Teoria da Mudança é que ela não pressupõe um processo linear, mas sim, reconhece que mudanças complexas acontecem em contextos multifacetados e influenciados por diversos fatores, como contextos econômicos, sociais, políticos e culturais (Peta, 2018). Por isso, ao utilizar a ToC, é fundamental levar em conta as dinâmicas locais e os obstáculos contextuais que podem interferir nas atividades planejadas, bem como as variáveis imprevistas que podem surgir ao longo da execução do programa (Coutinho, 2022).

Nos últimos anos, a aplicação da Teoria da Mudança tem sido particularmente relevante no desenvolvimento e avaliação de políticas públicas, especialmente em áreas como educação, saúde, segurança alimentar e desenvolvimento sustentável. Por exemplo, em políticas de saúde pública, como podem ser citadas aquelas voltadas para o controle de doenças crônicas; a ToC também pode ser usada para identificar como intervenções específicas (como campanhas educativas ou mudanças na regulamentação alimentar) podem impactar a saúde da população (Lindenfolk, 2023; Simeone et al., 2023). Já em relação às políticas alimentares, a ToC tem sido particularmente aplicada para entender como reformas regulatórias conseguem modificar comportamentos de consumo e, conseqüentemente, impactar as taxas de obesidade e de doenças relacionadas (Breuer et al., 2015).

Uma das grandes vantagens da Teoria da Mudança é a sua aplicabilidade tanto para o planejamento estratégico, como já mencionado, quanto para a avaliação e monitoramento de programas e políticas. A ToC permite que as organizações e governos acompanhem, em

tempo real, se as atividades implementadas estão alcançando os resultados esperados e se a teoria causal sobre a qual o programa foi baseado se mantém válida (Rodrigues 2022). A avaliação baseada na ToC vai além da aferição do impacto final; ela permite a análise de como cada componente do programa contribui para a transformação desejada e oferece insights sobre quais fatores precisam ser ajustados ou reforçados ao longo do processo (Rodrigues et al., 2021).

Além disso, a Teoria da Mudança promove uma abordagem participativa de avaliação, pois facilita a inclusão de diversos stakeholders no processo de construção da teoria causal e na avaliação do impacto (Gertler et al., 2015; Chaudhuri et al., 2022). Esse envolvimento é especialmente útil em contextos em que as mudanças sociais exigem a colaboração entre diversos atores, como organizações da sociedade civil, governo e empresas privadas. A transparência nos processos de avaliação, promovida pela ToC, também fortalece a prestação de contas, assim como ajuda as empresas na implementação das políticas públicas e dos critérios de ESG permitindo ajustes contínuos.

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, embutidos em uma agenda global com o propósito de promover a paz, a prosperidade e a sustentabilidade ambiental até 2030. A agenda é composta por 17 objetivos (figura 1) e 169 metas que visam erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir o bem-estar de todos. Embora a agenda tenha sido formulada em 2015, a implementação e os desafios associados à realização desses objetivos continuam a ser um tema central de estudos e práticas em diversas áreas (ONU, 2021).

Vale ressaltar que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que fazem parte da Agenda 2030, são os sucessores dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Os ODS podem ser considerados como uma continuação dos ODM (Bárcena, 2015). O que diferencia os ODM dos ODS é que as ações dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio focavam nas questões sociais, principalmente em relação às dificuldades dos países em desenvolvimento, envolvendo pouco envolvimento com o eixo econômico. Os Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável são mais globais e com grande foco no meio ambiente (ONU, 2015).

Os ODS proporcionam uma estrutura integrada, holística e coerente para abordar os mais urgentes desafios do mundo com respeito à sustentabilidade, e tendo em vista criar um futuro melhor para todos (Pacto Global et al., s.d.). São eles: Objetivo 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares; Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável; Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades; Objetivo 4. Assegurar a educação inclusiva, equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos; Objetivo 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas; Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e de saneamento para todos; Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos; Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos; Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação; Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles; Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis; Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis; Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos; Objetivo 14. Promover a conservação e o uso consciente dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável; Objetivo 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e impedir a perda de biodiversidade; Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis; e Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

Está subentendido na lógica da Agenda 2030 que cada um dos ODS depende do outro, mas não é dito como se dá essa relação de interdependência, nem as possibilidades de sinergia, bem como de fraquezas e forças (Nilsson, 2012). Para exemplificar, o ODS 3 foca em garantir uma

vida saudável e promover o bem-estar para todos em todas as idades enquanto o ODS 12 busca assegurar padrões de consumo e produção responsáveis. Estes dois ODS têm uma interconexão significativa, pois a promoção de um consumo responsável e sustentável pode ter efeitos positivos diretos na saúde pública, e a saúde de uma população impacta diretamente nas condições de produção e consumo sustentável. Como exemplos disso podemos citar a rotulagem nutricional e as políticas de transparência alimentar que têm sido apontadas como importantes ferramentas para promover escolhas alimentares mais responsáveis e saudáveis. A implementação de sistemas de rotulagem mais claros, como o "selo de alerta", introduzido pela ANVISA no Brasil em 2022, visa fornecer informações mais acessíveis aos consumidores sobre o conteúdo nutricional dos alimentos, propiciando escolhas mais saudáveis e, ao mesmo tempo, pressionando a indústria a reformular seus produtos (ANVISA, 2022).

Política de rotulagem nutricional

O conceito de rotulagem nutricional surgiu mais fortemente na década de 1970 e os Estados Unidos foram um dos pioneiros na implementação das regulamentações sobre essa rotulagem. Em 1973, os EUA instauraram a legislação do rótulo nutricional, através do FDA (Food and Drug Administration), que exigia que certos alimentos indicassem calorias e conteúdo nutricional básico, como proteínas, carboidratos e gorduras em suas embalagens.

Na Europa, a regulamentação começou de forma mais tímida, com a introdução de algumas normas nacionais, mas foi somente nos anos 1980, nos países que dela fazem parte, que as discussões sobre a padronização de rótulos começaram a ganhar força. Durante este período, a Comissão Europeia começou a estudar diretrizes para a rotulagem nutricional, mas a implementação de um sistema harmonizado de rotulagem só aconteceu em 1978 com a Diretiva 79/112/CEE.

A década de 1990 foi marcada por uma expansão significativa nas legislações de rotulagem nutricional em todo o mundo. O FDA, em 1990, implementou a Lei de Rotulagem Nutricional e Educação (NLEA), que estabeleceu requisitos mais detalhados para as informações nutricionais nos rótulos dos alimentos vendidos nos Estados Unidos. A NLEA exigiu que os fabricantes de alimentos indicassem informações mais completas sobre o conteúdo de nutrientes, como a quantidade de gorduras saturadas e gorduras trans, níveis de colesterol,

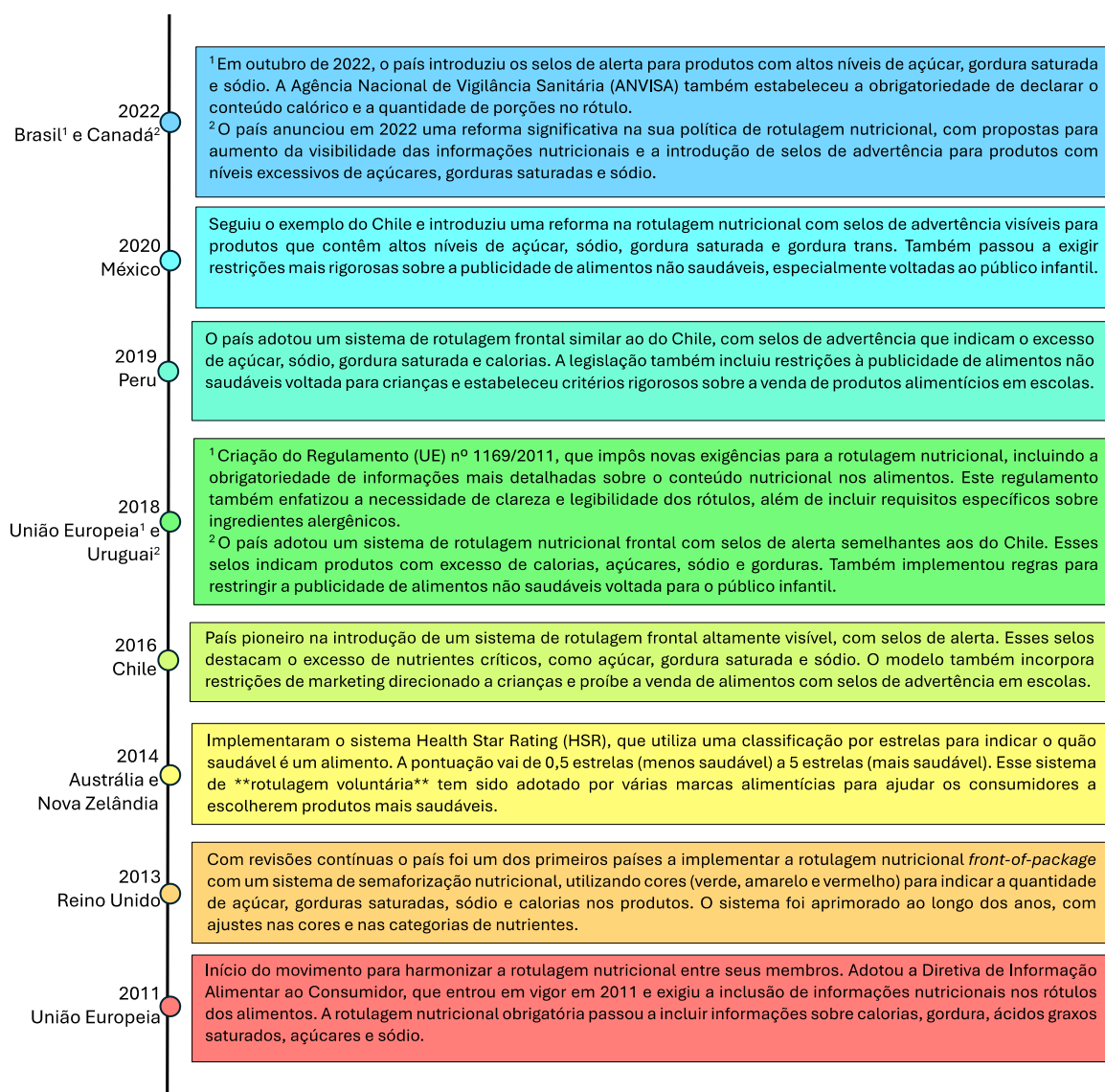
sódio, açúcares e proteínas, entre outros. Além disso, foi definida a tabela nutricional como um padrão, com a inclusão de porções e percentuais diários de valor nutritivo.

Durante os anos 1990, a Organização Mundial da Saúde (OMS) também começou a discutir as implicações das dietas inadequadas na saúde global, incluindo o aumento das doenças crônicas associadas à alimentação. Como resultado, muitos países passaram a alinhar suas políticas de rotulagem com as diretrizes internacionais da OMS, buscando melhorar a transparência e a educação alimentar da população.

Nos anos 2000, a União Europeia iniciou um processo de padronização da rotulagem nutricional entre seus membros, com a Diretiva 90/496/EEC de 1990, que passou a exigir a rotulagem nutricional obrigatória em alimentos processados. No entanto, esse regulamento ainda permitia uma certa flexibilidade quanto à forma de apresentação das informações, o que levou à falta de uniformidade entre os rótulos.

Na década de 2010, houve uma aceleração das reformas legislativas, com o objetivo de tornar a rotulagem nutricional mais clara, acessível e compreensível para os consumidores. Durante esse período, muitos países, especialmente na América Latina, começaram a adotar sistemas de rotulagem frontal de alimentos (front-of-package labels, FOP), com a introdução de símbolos gráficos mais simples e diretos, como o selo de alerta e os sistemas de semáforo nutricional (figura 1).

Figura 1 - Ordem cronológica dos principais países que implementaram reformas significativas na rotulagem nutricional.



Fonte: elaboração da autora (2025).

Vale salientar que a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) são os responsáveis pela regulamentação da rotulagem de alimentos no Brasil, estabelecendo as informações que um rótulo deve conter e garantindo a qualidade do produto para não colocar em risco a saúde do consumidor (Brasil, 2011). Dessa forma, a Diretoria Colegiada da Anvisa aprovou por unanimidade a nova norma sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados, a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 429 e a Instrução Normativa – IN nº 75, em de 8 de outubro de 2020. Como resultado, foram revogadas as RDCs nº 259 de 2002,

nº 360 e 359 de 2003, nº 163 de 2006, nº 48 de 2010 e nº 54 de 2012, que até então estruturavam os rótulos brasileiros (Brasil, 2021).

Para López et al. (2021) a introdução do sistema de rotulagem no Chile foi pioneira e eficaz na mudança do comportamento alimentar da população, evidenciado pela redução no consumo de produtos com altos níveis de ingredientes nocivos à saúde. O modelo chileno, baseado em selos de advertência, foi muitas vezes elogiado por sua clareza e impacto positivo na saúde pública. O modelo brasileiro, inspirado nesse sistema, tem gerado um debate crescente sobre sua eficácia, especialmente considerando as diferenças culturais e socioeconômicas no país (Cunha et al., 2023).

A implementação de políticas de rotulagem nutricional também tem sido incentivada por organizações internacionais de saúde, como a Organização Mundial da Saúde (OMS), que em 2019 fez um apelo para que os países adotassem rotulagem frontal clara para combater a obesidade e outras doenças relacionadas à alimentação (WHO, 2019). A OMS recomenda que a rotulagem seja simples, visível e de fácil entendimento, ajudando a prevenir escolhas alimentares prejudiciais e promovendo a saúde pública.

Embora as políticas de rotulagem nutricional representem um avanço significativo para a promoção de hábitos alimentares mais saudáveis, a implementação dessas políticas enfrenta desafios, especialmente no que se refere à resistência da indústria alimentícia. Oliveira et al. (2020) apontam que a indústria muitas vezes resiste às mudanças regulatórias, alegando que a rotulagem excessivamente restritiva pode atingir negativamente suas vendas e prejudicar a competitividade no mercado.

Contudo, alguns estudos, como o de Pereira et al. (2020), observam que a pressão regulatória pode levar as empresas a investirem em inovações em alimentos mais saudáveis e em marketing que promova opções alimentares mais equilibradas. Porém, a eficácia dessa pressão depende da rigorosa fiscalização e do compromisso governamental com a implementação das normas. Vasquez et al. (2022) afirmam que, embora algumas indústrias estejam reformulando seus produtos em resposta às políticas de rotulagem, há desafios no cumprimento da legislação em mercados com menos regulação e fiscalização.

Além disso, a eficácia da rotulagem nutricional pode ser limitada pela baixa alfabetização nutricional da população. Lima et al. (2021) ressaltam que, embora a rotulagem seja uma ferramenta importante, ela não é suficiente por si só para mudar comportamentos alimentares. Para que a política tenha sucesso, é necessário combinar a rotulagem com estratégias de educação alimentar, promoção de hábitos saudáveis e informação acessível sobre os benefícios de uma alimentação equilibrada.

Estudos também apontam que as disparidades socioeconômicas podem afetar a compreensão e a eficácia da rotulagem nutricional. Moraes et al. (2023) concluem que populações com menor nível educacional ou de renda podem não interpretar corretamente as informações contidas nos rótulos, o que diminui a eficácia da política voltada a alterar seus hábitos alimentares.

Metodologia

A metodologia utilizada neste projeto faz parte de uma abordagem qualitativa, segundo a qual, de acordo com Richardson (1999), trata-se de uma forma de descrever a complexidade de determinado problema, analisando a interação entre suas variáveis. Ainda de acordo com o mesmo autor é uma forma de compreender e classificar processos vividos por grupos sociais, além de contribuir para os processos de mudança de determinado grupo e possibilitar um entendimento profundo das particularidades do comportamento dos indivíduos.

Sua diferença em relação a um estudo quantitativo está em ter a possibilidade de realizar uma análise mais profunda em relação ao objeto de estudo e uma forma de conhecer a natureza de um fenômeno social (Raupp; Beuren, 2006).

De acordo com Gil (2008), a pesquisa qualitativa pode ser dividida em três fases: redução, exibição e conclusão. A primeira etapa refere-se à redução dos dados, ou seja, ao processo de seleção e simplificação das informações que serão analisadas no estudo, sendo necessário realizar essa simplificação para garantir a compreensão do tema. "Essa redução, embora seja o ponto de partida do processo analítico, continua a ocorrer até a elaboração do relatório final" (Miles; Huberman, 1994).

A segunda fase, chamada de exibição dos dados, envolve a organização das informações de modo a apresentá-las de uma nova forma. Essa apresentação pode ocorrer por meio de gráficos, tabelas ou textos (Gil, 2008), como será feito neste trabalho através do mapeamento da Teoria da Mudança, da descrição dos ODS contemplados no projeto da nova rotulagem nutricional e de métricas que devem ser desenvolvidas no projeto para verificar seu avanço.

A etapa final é a conclusão, na qual são analisados "o significado dos dados, suas regularidades, padrões e explicações". Gil (2008) ressalta que, em abordagens qualitativas, o "conceito de validade é distinto do utilizado nas pesquisas quantitativas, que se refere à capacidade de um instrumento de medir, de fato, aquilo que se propõe a medir" (Gil 2008).

Dessa forma, a etapa de redução dos dados foi realizada a partir da coleta e organização de informações obtidas por meio de revisão bibliográfica e documental. Foram consultados artigos científicos nacionais e internacionais, documentos técnicos, materiais institucionais e publicações relacionadas às políticas de rotulagem nutricional, buscando compreender seus efeitos sobre as escolhas alimentares da população, a interpretação das informações nutricionais pelos consumidores e possíveis mudanças promovidas pela indústria alimentícia na composição de seus produtos. Também foram analisados estudos de caso de países que adotaram sistemas de rotulagem nutricional frontal, permitindo identificar resultados alcançados, desafios enfrentados durante a implementação e aspectos que podem contribuir para o aprimoramento dessas políticas. Além disso, foram examinadas legislações, normas e regulamentos relacionados à rotulagem de alimentos industrializados, com o objetivo de compreender os requisitos legais e as estratégias utilizadas para informar os consumidores sobre a composição nutricional dos produtos.

Para orientar a busca das informações, foram utilizados descritores como a Teoria da Mudança, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e seus indicadores, a legislação sobre a rotulagem de alimentos industrializados, a rotulagem nutricional frontal (Front-of-Package – FOP), os selos de advertência e alerta, os regulamentos de rotulagem nutricional, as informações nutricionais em alimentos processados e ultraprocessados e as advertências relacionadas ao excesso de nutrientes críticos. A utilização desses termos permitiu reunir evidências científicas, experiências internacionais e referências regulatórias que contribuíram para a compreensão do problema estudado e para a construção da Teoria da Mudança proposta neste trabalho.

Para a segunda fase (exibição dos dados), aplicou-se a Teoria da Mudança com base na metodologia descrita no **Guia de Avaliação de Impacto Socioambiental para Utilização em Negócios e Investimentos de Impacto**: Guia Geral com Foco em Verificação de Adicionalidade (Metricis Insper, 2020). Nesse processo, foi necessário definir os recursos humanos, físicos e financeiros, as linhas de ação e programas de intervenção relevantes ao tema, os produtos e serviços entregues aos participantes do programa, os resultados esperados desses produtos e as transformações potenciais na sociedade. Tais dados permitiram, posteriormente, a identificação dos indicadores de impacto, ou seja, o alinhamento entre a regulamentação da rotulagem nutricional, consumidores, empresas e os objetivos globais de sustentabilidade.

Resultados e discussões

Teoria da Mudança aplicada

Conforme orientado no **Guia Geral com Foco em Verificação de Adicionalidade** (Metricis Insper, 2020), para que o projeto possa ser entendido e executado, deve-se delimitar as premissas que o sustentam; para isso, foi realizado um mapeamento do projeto, onde foram descritos os insumos necessários para que ele seja colocado em prática (recursos humanos, físicos, financeiros e práticos), as atividades que serão desenvolvidas (linhas de ação e programas de intervenção), os produtos gerados como resultado (produtos e serviços oferecidos aos participantes), as atividades planejadas em prol dos resultados gerais (mudanças tangíveis em variáveis-chave relacionadas à atividade principal, valorizadas pelo público-alvo) e, por fim, os resultados para a sociedade (transformações sociais decorrentes da intervenção). Diante disso, através da figura 2, foi possível montar um panorama geral do que é necessário para o projeto realizar-se e quais os resultados esperados a curto, médio e longo prazo, levando em conta a implementação pelas indústrias alimentícias da nova rotulagem nutricional e sua colaboração para o bem-estar dos consumidores e engajamento nos ODS da Agenda 2030.

Ainda, nessa mesma figura, estão presentes setas coloridas que ilustram a interdependência entre as diferentes necessidades do projeto e seus resultados esperados, ou seja, explicam o motivo pelo qual os insumos e atividades precisam ser adquiridos e desenvolvidos para alcançar os resultados esperados.

Analisando de forma geral o mapeamento, é possível verificar que a implementação da nova rotulagem nutricional é um processo passível de causar impacto tanto no mercado alimentício como na sociedade. Iniciando pelos insumos, pode-se dizer que, apesar de a nova rotulagem nutricional já ser uma realidade das empresas que trabalham com alimentos processados (desde 9 de outubro de 2023 para alimentos em geral), provavelmente muitas delas, durante o período de adaptação à nova legislação, tiveram que acessar e estudar as novas leis e consultar fontes científicas, desenhar os novos rótulos e adequá-los aos equipamentos já existentes e realizar parcerias.

Já os cursos para a conscientização dos consumidores sobre a nova rotulagem vêm acontecendo até mesmo antes de 2019, focados tanto para consumidores finais como para empresas que teriam de se adequar às suas embalagens. Eles foram oferecidos na forma de workshops, webinars, consultorias e cursos de curta duração, e foram oferecidos por diversas instituições e plataformas, como as de universidades, consultorias e organizações especializadas. Em uma busca rápida na internet por esses cursos, é possível verificar a oferta de pelo menos 1.520.000 resultados.

É importante destacar que, de acordo com a legislação RDC nº 429 e Instrução Normativa nº 75, publicadas em outubro de 2020, a nova rotulagem nutricional se aplica tanto à tabela de informações nutricionais quanto aos rótulos frontais, que antes não eram exigidos, nas embalagens de produtos alimentícios.

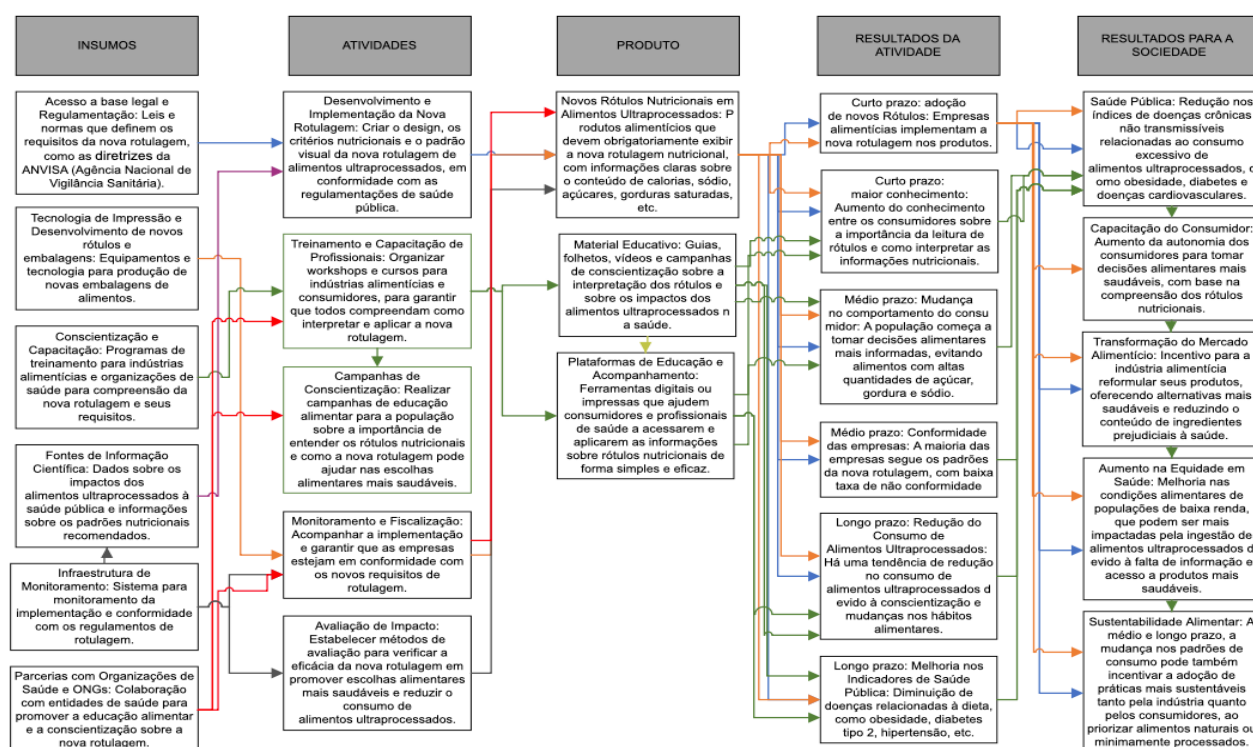
A tabela nutricional agora deve estar presente nas embalagens com letras pretas em fundo branco, visando garantir a legibilidade das informações e evitar o uso de contrastes que dificultem a leitura. Outra modificação significativa diz respeito às informações contidas na tabela, segundo a qual a empresa deve obrigatoriamente declarar a quantidade de açúcares totais e adicionados, o valor energético e os nutrientes por 100 g ou 100 ml, facilitando, para o consumidor, a comparação entre produtos. Além disso, a empresa deve indicar o número de porções por embalagem.

A rotulagem nutricional frontal, a que mais importa para este projeto, é considerada a maior inovação. Trata-se de um símbolo informativo (uma lupa) que deve estar visível no painel frontal da embalagem, com o objetivo de fornecer ao consumidor informações claras e simples sobre o alto teor de nutrientes relevantes para a saúde, como: açúcares adicionados (para alimentos sólidos e semi sólidos que contêm 15g ou mais de açúcar adicionado por 100g de produto; já para alimentos líquidos, os limites são 7,5 g ou mais para 100 ml de produto), gorduras saturadas (para alimentos

sólidos e semi sólidos que contêm 6g ou mais de açúcar adicionado por 100g de produto, enquanto para alimentos líquidos são 3g ou mais para 100 ml de produto) e sódio (para alimentos sólidos e semi sólidos que contêm 600mg ou mais de açúcar adicionado por 100g de produto, ao passo que para alimentos líquidos são 300mg ou mais para 100 ml de produto) (Brasil 2020).

Isso significa que o consumidor terá que se adaptar a uma nova realidade, que ainda não tinha sido aplicada aos produtos que está acostumado a consumir; por esse motivo, no mapeamento há menção sobre os cursos e resultados de curto, médio e longo prazo.

Figura 2 - Mapeamento da teoria de Mudança para o projeto de estudo.



Fonte: elaboração da autora (2025).

Pela figura 2, também é possível identificar, tanto a partir dos resultados das atividades quanto do resultado para a sociedade quais ODS são contemplados ao implementar o projeto da nova rotulagem, contribuindo com a ideia inicial de que se trata de um processo que envolve a saúde pública como também as questões de sustentabilidade, o que pode ser mais bem visualizado pela presença implícita dos ODS da Agenda 2030. Dessa forma, resumidamente, a tabela 1 mostra quais são os ODS contemplados no projeto (ODS 2, 3, 9, 12 e 17), o motivo de serem associados ao seu desenvolvimento e como as metas, provenientes da Agenda 2030 referente a cada ODS o projeto consegue inserir no seu escopo.

Tabela 1 - Descrição dos ODS contemplados no projeto da nova rotulagem nutricional.

ODS	Descrição do ODS	Atuação do projeto	Meta da Agenda 2030 associada
2	Fome zero e agricultura sustentável	A nova rotulagem nutricional pode ajudar a combater a desnutrição ao tornar mais acessível a informação sobre o conteúdo nutricional dos produtos, facilitando o acesso a alimentos mais saudáveis.	2.1 Até 2030, acabar com a fome e garantir o acesso de todas as pessoas, em particular os pobres e pessoas em situações vulneráveis, incluindo crianças, a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano; 2.2 Até 2030, acabar com todas as formas de desnutrição, incluindo atingir, até 2025, as metas acordadas internacionalmente sobre nanismo e caquexia em crianças menores de cinco anos de idade, e atender às necessidades nutricionais dos adolescentes, mulheres grávidas e lactantes e pessoas idosas.
3	Saúde e Bem-Estar	A rotulagem nutricional facilita esse objetivo ao fornecer informações claras sobre os nutrientes e ingredientes dos alimentos. Isso permite que os consumidores façam escolhas informadas sobre sua dieta, ajudando a prevenir doenças relacionadas à alimentação, como obesidade, diabetes e doenças cardiovasculares.	3.4 Até 2030, reduzir em um terço a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis via prevenção e tratamento, e promover a saúde mental e o bem-estar
9	Indústria, inovação e infraestrutura	A rotulagem nutricional incentiva a indústria alimentar a adotar práticas mais transparentes e inovadoras em relação aos ingredientes, processos de produção e sustentabilidade. A inovação também pode ocorrer na própria forma de rotulagem, com tecnologias mais avançadas e práticas de marketing que destaquem a sustentabilidade e a saúde.	9.5 Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento.
12	Consumo e produção responsáveis	A nova rotulagem pode oferecer mais transparência sobre a composição dos produtos, ajudando os consumidores a fazer escolhas mais informadas. Isso pode reduzir o consumo de produtos com ingredientes prejudiciais à saúde e incentivar a compra de alimentos mais saudáveis e sustentáveis. Uma rotulagem mais clara pode ajudar as pessoas a entender melhor o que estão consumindo, favorecendo escolhas alimentares mais saudáveis. Isso pode levar a uma redução do consumo de alimentos processados e ultraprocessados, que geralmente têm maior impacto ambiental devido à sua produção intensiva de recursos naturais.	12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente; 12.8 Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza; 12.a Apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para mudar para padrões mais sustentáveis de produção e consumo.
17	Parcerias e meios de implementação	A rotulagem nutricional destaca a importância de parcerias globais para alcançar os ODS. A rotulagem nutricional envolve a colaboração entre governos, empresas, organizações internacionais e consumidores. Governos podem estabelecer regulamentações claras, empresas podem adotar práticas responsáveis, e as organizações da sociedade civil podem educar o público. A união desses esforços pode levar a uma implementação mais eficaz da rotulagem nutricional, contribuindo para um consumo mais saudável e sustentável.	17.17 Incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas e com a sociedade civil eficazes, a partir da experiência das estratégias de mobilização de recursos dessas parcerias.

Fonte: elaboração da autora (2025).

Vale frisar que faz parte deste Guia Geral, para que o projeto tenha êxito na sua implementação, a identificação de indicadores, denominados de métricas. De acordo com Berardi (2009), são vários os fatores utilizados para se verificar a qualidade de um processo; no entanto, os de caráter quantitativo são mais eficazes, já que eliminam a subjetividade das atividades propostas e ajudam na tomada de decisão. Assim sendo, de acordo com a figura 3, foram identificados, para o projeto em questão, 6 diferentes métricas quantitativas. Todas elas foram descritas em relação à sua relevância para o projeto, se são passíveis de ação, precisas em relação ao que devem medir no processo e apresentar como resultados e se têm um custo baixo de implementação.

Figura 3 - Métricas que devem ser desenvolvidas no projeto para verificar seu avanço.

TIPO DE MÉTRICAS	Resultado	Métricas	Relevante?	Passível de ação?	Precisa?	De baixo custo?
Taxa de Reconhecimento da Nova Rotulagem Nutricional	Percentual de consumidores que afirmam reconhecer a nova rotulagem nutricional nos alimentos ultraprocessados	Qualitativa (baseada em pesquisa de opinião)	Medir a conscientização e o reconhecimento da nova rotulagem é um passo inicial crucial para o sucesso da Teoria da Mudança, pois sem reconhecimento, o impacto da rotulagem será limitado	Se o percentual de reconhecimento for baixo, as ações podem ser direcionadas para aumentar a visibilidade da rotulagem, como campanhas educativas ou publicidade	A pesquisa de opinião sobre reconhecimento é um dado direto e objetivo	Pesquisa de opinião ou inquéritos podem ter custos de implementação, dependendo da amostra e da metodologia usada
Adoção de nova rotulagem pelas Empresas	Percentual de empresas alimentícias que alteraram seus rótulos para se incluir na nova legislação de rotulagem	Quantitativa (dados de compliance ou auditoria regulatória) e pesquisa	A adoção pela indústria é fundamental para que a nova rotulagem se torne uma prática comum no mercado, indicando que a política está sendo implementada	Se muitas empresas não adotarem a nova rotulagem, o governo pode intensificar a fiscalização, ou oferecer incentivos para as empresas que se adaptarem	Este indicador é objetivo e baseado em dados verificáveis	Pode ser monitorado por meio de registros públicos de conformidade ou relatórios de auditoria de empresas, sem custos altos de implementação
Mudança nas Preferências de Compra dos Consumidores	Percentual de consumidores que afirmam que a nova rotulagem influencia suas escolhas de compra para alimentos mais saudáveis	Qualitativa/Quantitativa (pesquisa de intenção de compra)	Esse indicador é essencial para entender se a rotulagem está realmente influenciando o comportamento dos consumidores, o que é um dos objetivos centrais da ToC .	Com base nos resultados dessa pesquisa, políticas públicas ou campanhas de conscientização podem ser ajustadas ou intensificadas para estimular mais mudanças nas preferências de compra	As pesquisas são relativamente diretas e podem ser feitas de forma objetiva, com amostras representativas	Pesquisas de mercado de intenção de compra podem ser caras dependendo da amostra e da abrangência

TIPO DE MÉTRICAS	Resultado	Métricas	Relevante?	Passível de ação?	Precisa?	De baixo custo?
Redução no Consumo de Alimentos Ultraprocessados	Percentual de consumidores que diminuem o consumo de alimentos ultraprocessados após a implementação da nova rotulagem	Quantitativa (baseada em pesquisas de consumo alimentar)	A redução do consumo de ultraprocessados é um dos objetivos principais da ToC , tornando esse indicador altamente relevante	Caso a redução não seja observada, ações de incentivo, como campanhas educativas ou novas regulamentações, podem ser adotadas	Pode ser obtido por meio de estudos de consumo alimentar confiáveis, embora as medições precisem ser feitas de forma cuidadosa	Pesquisas de consumo alimentar em grande escala podem ser caras, especialmente se envolverem acompanhamento longitudinal
Aumento no Consumo de Alimentos Frescos e Minimamente Processados	Percentual de consumidores que aumentam o consumo de alimentos frescos e minimamente processados após a introdução da nova rotulagem	Quantitativa (pesquisas de hábitos alimentares)	A mudança para dietas mais equilibradas é uma consequência desejada da nova rotulagem, tornando esse indicador um reflexo direto do impacto da ToC .	Se o consumo de alimentos frescos não aumentar, ações focadas em educação nutricional podem ser mais intensificadas	Este indicador é preciso e pode ser medido por meio de inquéritos alimentares bem conduzidos	O monitoramento de hábitos alimentares em grande escala exige estudos caros e longos
Taxa de Participação em Campanhas Educativas	Número de consumidores que participam de campanhas educativas sobre nutrição e interpretação de rótulos	Quantitativa (dados de participação)	As campanhas educativas são um pilar importante da ToC , pois ajudam a aumentar o entendimento dos consumidores sobre a rotulagem nutricional	Se as taxas de participação forem baixas, mais esforços podem ser direcionados para aumentar a visibilidade e atratividade das campanhas	A coleta de dados de participação é simples e objetiva	O custo de monitoramento da participação é relativamente baixo e pode ser feito com dados administrativos ou de registros de eventos
Adoção de Rotulagem pela Indústria Alimentícia	Percentual de produtos alimentícios reformulados para atender às novas exigências de rotulagem nutricional	Quantitativa (dados de conformidade regulatória)	A indústria precisa reformular seus produtos para atender às novas exigências, e esse é um passo essencial para que a mudança tenha efeito no mercado	A indústria precisa reformular seus produtos para atender às novas exigências, e esse é um passo essencial para que a mudança tenha efeito no mercado	A reformulação dos produtos é um dado objetivo e verificável	A reformulação dos produtos é um dado objetivo e verificável

Fonte: elaboração da autora (2025).

Além disso, para facilitar a compreensão de quais métricas são mais aderentes ao projeto e qual a viabilidade de cada ação em relação ao impacto das novas rotulagens nutricionais, foram atribuídas para cada descrição uma nota de 1 (menor peso) a 5 (maior peso), como verificado na tabela 2, pois, dessa forma, entende-se que a métrica que obtiver uma maior pontuação (multiplicação entre os valores) é a que atende a maior parte dos critérios estudados.

Vale dizer que a atribuição de notas apresentada neste estudo foi realizada pela percepção da autora, levando em consideração a natureza qualitativa do objeto de estudo. Consequentemente, para manter uma padronização de avaliação, foram consideradas extremamente relevantes (nota 5) as métricas que representavam um resultado capaz de mostrar que o projeto da nova rotulagem está servindo para mudar o comportamento do consumidor. Já com as notas mais baixas seria o contrário, ou seja, mostram que o projeto está em aplicação no mercado, mas que não está atuando diretamente no comportamento do consumidor e, por conseguinte, no decréscimo das DCNTs. Sendo passíveis de ação, receberam as notas mais altas as métricas que facilmente são aplicadas e que influenciam de forma positiva no resultado do projeto. No quesito precisão, receberam notas mais altas as métricas objetivas e/ou quantitativas, fixando com notas menores as mais subjetivas e/ou qualitativas. Por fim, o baixo custo foi avaliado em relação ao valor gasto para implementar a métrica, sendo as que gastariam um montante menor as que receberam notas mais altas.

Dessa forma, como mencionado, a avaliação foi realizada com as 6 métricas, sendo que 2 delas parecem não mostrar muita aderência ao projeto por não serem muito passíveis de ação, não serem muito precisas e de cara implementação. Já as demais (4 métricas) parecem relevantes e mais precisas como apresentado nos resultados da tabela 2.

Uma das métricas (adoção de rotulagem pela indústria alimentícia) obteve um valor superior às demais, e em todos os quesitos selecionados para fazer a avaliação recebeu praticamente a nota máxima. Em relação à relevância, essa métrica obteve a nota máxima, pois a adoção da nova rotulagem pela indústria é crucial para garantir que as informações nutricionais sejam amplamente acessíveis aos consumidores. Trata-se de uma métrica passível de ação, já que a indústria pode ser regulamentada ou incentivada a adotar as novas rotulagens, facilitando a mudança. Em relação à sua precisão, a adoção pela indústria é algo que pode ser monitorado com precisão por meio de dados de conformidade e relatórios regulatórios. Além disso, as empresas podem adotar a nova

rotulagem com custos relativamente baixos, dependendo da escala de produção e das mudanças necessárias.

Tabela 2 - Análise de adequação de métricas para o projeto.

TIPO DE MÉTRICAS	Relevante?	Passível de ação?	Precisa?	De baixo custo?	Total
Taxa de reconhecimento da nova rotulagem nutricional	5	4	5	3	300
Mudança nas preferências de compra dos consumidores	4	3	3	2	72
Redução no consumo de alimentos ultraprocessados	4	3	3	2	72
Aumento no consumo de alimentos frescos e minimamente processados	5	3	4	2	120
Taxa de participação em campanhas educativas	4	4	4	3	192
Adoção de rotulagem pela indústria alimentícia	5	5	5	4	500

Fonte: elaboração da autora (2025).

A métrica que ficou em segundo lugar em relação à aderência ao projeto (taxa de reconhecimento de nova rotulagem nutricional) também é importante, pois garantir que os consumidores reconheçam a nova rotulagem nutricional propicia diretamente a eficácia das mudanças para a saúde pública. Essa métrica é passível de ação, desde que sejam feitas campanhas de comunicação eficazes, o que é possível, mas exige um esforço considerável. Trata-se de uma métrica clara, já que o reconhecimento da rotulagem pode ser medido por meio de pesquisas ou testes de percepção do consumidor. No entanto, embora seja possível realizar campanhas de baixo custo, uma divulgação em larga escala pode exigir investimentos significativos.

Quanto à terceira métrica mais pontuada, a taxa de participação em campanhas educativas sobre a troca de rótulos, é essencial para garantir que os consumidores compreendam a nova rotulagem e seus benefícios, o que irá impactar diretamente a adesão ao novo sistema. As campanhas educativas podem ser bem organizadas, mas dependem de uma boa coordenação entre governo, organizações e mídia. A participação dos consumidores pode ser medida por meio de pesquisas ou dados de adesão. Sendo uma métrica parecida com a anterior, aqui também é necessário um investimento significativo para as campanhas em larga escala.

No que se refere à quarta métrica (aumento do consumo de alimentos frescos e minimamente processados), a promoção desses alimentos é crucial para melhorar a saúde pública, tornando essa ação muito relevante. Embora a rotulagem ajude, outros fatores, como políticas de preço e incentivos à produção também são necessários para aumentar o consumo desses alimentos. O crescimento do consumo pode ser monitorado por meio de pesquisas de mercado e dados de vendas, mas envolve diversos outros elementos além da rotulagem. Em relação ao custo, a implementação de políticas que incentivem o consumo de alimentos frescos pode exigir investimentos em infraestrutura e campanhas públicas, não sendo muito fáceis de serem aplicados.

Quanto às métricas menos cotadas, a mudança nas preferências dos consumidores é importante, mas não garante, por si só, um impacto substancial na saúde pública sem outras intervenções. Reduzir o consumo de alimentos processados pode contribuir para uma dieta mais saudável, mas é apenas um dos muitos fatores que influenciam esse comportamento ampliado também por hábitos arraigados, preços e acessibilidade.

Em relação à precisão dessas métricas, embora seja possível medir a mudança nas preferências por meio de pesquisas de mercado, esses dados são, na maioria das vezes, subjetivos e volúveis, além de difíceis de separar de outros fatores. Outro ponto a considerar é que influenciar as preferências dos consumidores exige campanhas educativas e mudanças culturais, processos que tendem a ser caros e de longo prazo.

Considerações finais

A implementação da nova rotulagem nutricional no Brasil tem o potencial de desempenhar um papel crucial na transformação dos hábitos alimentares da população. É um movimento que se alinha não só ao ODS 3, de garantir uma vida saudável, mas também a outros Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como os ODS 2, 9, 12 e 17, ao incentivar práticas de consumo responsável e a participação ativa de todos os setores da sociedade.

Vale ressaltar que, ao analisar o VIII relatório da sociedade civil da Agenda 2030 (Nilo et al., 2024), observou-se que algumas metas de determinados ODS mencionados no parágrafo anterior

apresentaram retrocessos em 2022 (quando as políticas ou ações correspondentes foram interrompidas, alteradas negativamente ou sofreram esvaziamento orçamentário), como as metas 3.4 e 12.4. Por outro lado, outras metas, como 2.2, 9.5 e 12.a, foram classificadas como insuficientes (progresso insuficiente: quando a meta apresenta desenvolvimento aquém do necessário para sua implementação efetiva). No entanto, lembrando que a nova legislação de rotulagem nutricional entrou em vigor em 8 de outubro de 2022 e há uma intersecção entre a nova legislação e os ODS da Agenda 2030, é possível que essa situação venha a ser modificada à medida que as métricas, identificadas pela Teoria da Mudança, neste projeto, sejam monitoradas.

No total, foram 6 métricas elaboradas, 5 delas tendo como ator principal o consumidor e apenas uma relacionada à indústria alimentícia. Isso implica que, para a nova rotulagem alcançar seus objetivos de promover escolhas alimentares mais saudáveis, o consumidor deve compreender claramente seu papel e as informações contidas nos rótulos, aproveitando ao máximo os benefícios que a legislação pode oferecer.

Já as indústrias alimentícias devem adaptar seus produtos e práticas de marketing de acordo com as exigências da nova legislação, promovendo transparência e alinhamento com os padrões de saúde pública. O governo, por sua vez, fica com o papel de fiscalização na implementação eficaz das políticas públicas relacionadas, garantindo que as regras sejam cumpridas e que as informações cheguem de maneira clara ao público. Portanto, em síntese, é fundamental que o governo, as indústrias e os consumidores caminhem de forma conjunta e coordenada para garantir o sucesso desse processo de transformação alimentar no país.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Relatório de análise de impacto regulatório sobre rotulagem nutricional**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/air/analises-de-impacto-regulatorio/2019/relatorio-de-analise-de-impacto-regulatorio-sobre-rotulagem-nutricional.pdf/view>. Acesso em: 25 jun. 2026.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Anvisa disponibiliza arquivos com modelos para a rotulagem nutricional**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2021/anvisa-disponibiliza-arquivos-com-modelos-para-rotulagem-nutricional>. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BARKI, E.; TORRES, H. G.; BARROS, O. A. **Teoria da mudança**. [S. l.: s. n.], 2023.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa n.º 75, de 8 de outubro de 2020**. Estabelece os requisitos técnicos para declaração da rotulagem nutricional nos alimentos embalados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 out. 2020. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3882585/IN+75_2020_.pdf. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada – RDC n.º 429, de 8 de outubro de 2020**. Dispõe sobre a rotulagem nutricional dos alimentos embalados. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 9 out. 2020. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3882585/RDC_429_2020_.pdf. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Anvisa disponibiliza arquivos com modelos para rotulagem nutricional**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2021/anvisa-disponibiliza-arquivos-com-modelos-para-rotulagem-nutricional>. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Rótulos de alimentos: orientação ao consumidor**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2011. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br>. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas e agravos não transmissíveis no Brasil 2021–2030**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/doencas-cronicas-nao-transmissiveis-dcnt/09-plano-de-dant-2022_2030.pdf. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigitel Brasil 2024**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/svsa/inqueritos-de-saude/vigitel>. Acesso em: 25 jun. 2026.
- BREUER, E. et al. Using theory of change to design and evaluate public health interventions: a systematic review. **Implementation Science**, v. 11, p. 1-17, 2016.
- BURIGO, A. C.; PORTO, M. F. Agenda 2030, saúde e sistemas alimentares em tempos de pandemia: da vulnerabilização à transformação necessária. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, n. 10, p. 4411-4424, 2021.
- CHAUDHURI, A. et al. A theory of change roadmap for universal health coverage in India. **Frontiers in Public Health**, v. 10, p. 1040913, 2022.
- COUTINHO, T. **O que é teoria da mudança e quais são os seus impactos?** 2022. Disponível em: <https://voitto.com.br/blog/artigo/teoria-da-mudanca>. Acesso em: 25 jun. 2026.

CUNHA, D. et al. A nova rotulagem nutricional no Brasil: desafios e perspectivas para a saúde pública. **Revista Brasileira de Nutrição e Saúde**, v. 10, n. 3, p. 210-225, 2023.

GERTLER, P. J. et al. **Avaliação de impacto na prática**. Washington, DC: Banco Mundial, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INSPER METRICS. **Guia de avaliação de impacto socioambiental para utilização em projetos e investimentos de impacto**. São Paulo: Insper Metrics, 2020.

LIMA, C. et al. Educação alimentar e a efetividade da rotulagem nutricional: uma revisão crítica das políticas públicas. **Jornal de Saúde e Nutrição**, v. 7, n. 1, p. 42-50, 2021.

LINDENFALK, B. et al. Identifying leverage points for systemic change: a strategic approach using PLR and Theory of Change. In: SIMEONE, L. et al. **Strategic Thinking, Design and the Theory of Change**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023. p. 251-269.

LOPEZ, R. et al. A eficácia do sistema de rotulagem nutricional no Chile: impactos na saúde pública e comportamento alimentar. **Revista de Saúde Pública**, v. 55, n. 2, p. 101-115, 2021.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M.; SALDAÑA, J. **Qualitative data analysis: a methods sourcebook**. 3. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2014.

MORAES, F. et al. Desigualdade no acesso e compreensão da rotulagem nutricional: um estudo de caso em comunidades de baixa renda. **Revista Brasileira de Alimentação e Nutrição**, v. 9, n. 5, p. 87-100, 2023.

NILO, A. et al. **Relatório Luz da Sociedade Civil da Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável – Brasil**. Brasília, DF: [s. n.], 2024.

NILSSON, M. Integrating the Sustainable Development Goals: global targets and interlinkages. **Journal of Global Sustainability**, v. 9, p. 123-136, 2012.

OLIVEIRA, D. M. **O direito à informação nas relações de consumo: os malefícios de alimentos ultraprocessados e o novo padrão de rotulagem da RDC n.º 429/2020 da ANVISA**. [S. l.: s. n.], 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): Agenda 2030**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 25 jun. 2026.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Rotulagem nutricional e prevenção de doenças crônicas: recomendações para políticas públicas**. Genebra: OMS, 2019. Disponível em: <https://www.who.int/nutrition/topics>. Acesso em: 28 jan. 2025.

PACTO GLOBAL. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development**. Nova York: ONU, [s.d.]. Disponível em: <https://www.unglobalcompact.org/take-action>. Acesso em: 28 jan. 2025.

PEREIRA, M. et al. A indústria alimentícia e a influência das políticas de rotulagem nutricional na reformulação de produtos. **Estudos em Políticas Alimentares**, v. 12, n. 4, p. 112-123, 2020.

PETA, I. **Theory of change for development: understanding, usage, and influence**. [S. l.: s. n.], 2018.

PIRAS, S. et al. Spatial justice on the horizon? A combined Theory of Change scenario tool to assess place-based interventions. **European Planning Studies**, v. 30, n. 5, p. 952-973, 2022.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. **Metodologia da pesquisa: fundamentos e práticas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

RICHARDSON, L. **Qualitative research: an introduction to methods and practices**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1999.

RODRIGUES, J.; MELO, A. Passo a passo até o impacto. **GV Executivo**, v. 21, n. 4, p. 32-38, 2022.

RODRIGUES, P. P. et al. Teoria da mudança e metodologias de avaliação de projetos sociais nas organizações. **Revista de Empreendedorismo, Negócios e Inovação**, v. 6, n. 1, p. 55-74, 2021.

SIMEONE, L. et al. **Strategic Thinking, Design and the Theory of Change: a framework for designing impactful and transformational social interventions**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2023.

UNITED NATIONS. **The SDG Report 2021**. New York: United Nations, 2021. Disponível em: https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-07/2021SDGReport_English.pdf. Acesso em: 25 jun. 2026.

VASQUEZ, L. et al. Desafios na implementação da legislação de rotulagem nutricional em mercados emergentes. **Revista de Políticas de Saúde Pública**, v. 8, n. 2, p. 45-59, 2022.

VERMEERSCH, C. M. J. **Avaliação de impacto na prática**. Washington, DC: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World health statistics 2019**: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization, 2019. Disponível em: <https://iris.who.int/handle/10665/324835>. Acesso em: 25 jun. 2026.

AgentK: detecção inteligente de erros em arquivos de configuração do Kubernetes, uma implementação do Model Context Protocol

AgentK: intelligent error detection in Kubernetes configuration files, an implementation of the Template Context Protocol

Engenharia de Computação

Vinicius Gabriel da Silva Olimpio (viniolimpio3@gmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

David Santos Pinheiro das Neves (davidspdn@gmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Cleber dos Santos Santana (081210015@faculdade.cefsa.edu.br)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Wilson Pereira da Silva (081210039@faculdade.cefsa.edu.br)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Fábio Henrique Cabrini (pro10964@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA) e da FIAP.

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026

• ISSN 2525-8729

Submissão: 19 dez. 2025 Aceitação: 22 maio 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 109 – p. 125

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

O crescimento do uso de contêineres e sua orquestração com Kubernetes tem trazido benefícios de escalabilidade e padronização, mas também desafios relacionados a falhas de configuração, responsáveis por grande parte dos incidentes de segurança na plataforma. Nesse cenário, este trabalho apresenta o AgentK, um sistema baseado em *Large Language Models* (LLM) e no *Model Context Protocol* (MCP), desenvolvido para a detecção inteligente de erros em arquivos YAML (*Ain't Markup Language*) do Kubernetes. A pesquisa foi conduzida em ambiente controlado com Minikube e infraestrutura do provedor de nuvem *Amazon Web Service* (AWS), utilizando arquivos com falhas intencionais. Foram comparados diferentes modelos quanto a custo, tempo de resposta e capacidade de detecção. Os resultados mostraram que o o4-mini obteve 100% de acurácia, mas apresentou limitações de integração; já o gpt-4.1, embora tenha identificado 66,7% das falhas, foi escolhido por oferecer melhor equilíbrio no quesito custo, que representa cerca de 28,5% menos que o o4-mini, desempenho e compatibilidade arquitetural. A arquitetura final permitiu não apenas detectar, mas também corrigir falhas automaticamente, evidenciando o potencial do AgentK para reforçar a segurança e a robustez de ambientes Kubernetes, especialmente em cenários críticos como cidades inteligentes.

Palavras-chave: Kubernetes. Modelo de Linguagem de Grande Escala. Cidades inteligentes. Modelo de Protocolo de Contexto

Abstract

The increasing adoption of containers and their orchestration through Kubernetes has brought scalability and standardization benefits, but also challenges related to configuration errors, which account for a substantial portion of security incidents on the platform. In this context, this paper presents AgentK, a system based on Large Language Models (LLM) and the Model Context Protocol (MCP), developed for the intelligent detection of configuration errors in Kubernetes (YAML *Ain't Markup Language*) files. The research was conducted in a controlled environment using Minikube and cloud provider Amazon Web Service (AWS) infrastructure, with validation performed through files containing intentional misconfigurations. Several language models were compared in terms of cost, response time, and detection capability. Results showed that the o4-mini model reached 100% accuracy but presented integration limitations; meanwhile, gpt-4.1, although identifying 66.7% of the issues, was selected for offering a better balance between cost, approximately 28.5% lower than o4-mini, performance, and architectural compatibility. The final architecture enabled not only error detection but also automated correction, demonstrating AgentK's potential to strengthen security and robustness in Kubernetes environments, especially in critical scenarios such as smart cities.

Keywords: Kubernetes. Large Language Model. Smart Cities. Model Context Protocol.

Introdução

O Kubernetes consolidou-se como plataforma essencial para orquestração de contêineres em produção, permitindo implantação, escalonamento e monitoramento automatizados de aplicações (Muralidharan, Song e Ko, 2019). A **Cloud Native Computing Foundation** (2024) indica que 93% das organizações já utilizam a plataforma, embora enfrentem desafios relacionados à complexidade técnica (35%) e à segurança (37%).

O **State of Kubernetes Security Report** (2022) revela que 53% dos incidentes de segurança originam-se de erros nos arquivos YAML, responsáveis por definir permissões e políticas dos componentes do cluster. Esse problema torna-se crítico em cidades inteligentes, onde múltiplos domínios (mobilidade, energia, saúde) dependem de aplicações distribuídas processando dados em tempo real (Gracias *et al.*, 2023). Qualquer falha computacional compromete o sistema urbano como um todo, reforçando a necessidade de infraestruturas confiáveis.

Os contêineres oferecem portabilidade, enquanto o Kubernetes viabiliza seu gerenciamento em larga escala (Matthias e Kane, 2016). Contudo, a ausência de mecanismos automatizados para a validação de configurações amplifica a exposição a vulnerabilidades, exemplificada pelo incidente na Tesla em 2018, quando uma instância Kubernetes sem autenticação foi comprometida (BBC News, 2018).

Nesse contexto, os Large Language Models (LLM) emergem como alternativa promissora, dada sua capacidade de interpretar estruturas textuais complexas, como arquivos YAML, de forma contextual (Minaee *et al.*, 2025). Este trabalho pressupõe que a integração de LLM a sistemas automatizados pode aprimorar a identificação e a mitigação de erros de configuração em Kubernetes.

O objetivo geral é desenvolver um sistema automatizado capaz de analisar arquivos YAML, verificar conformidade com boas práticas e implementar correções. Os objetivos específicos são: (i) desenvolver um agente inteligente para identificar erros com precisão mínima de 75%; (ii) implementar mecanismos automatizados de correção e validação estrutural; e (iii) projetar uma interface conversacional que permita interação eficiente entre usuário e sistema.

Referencial teórico

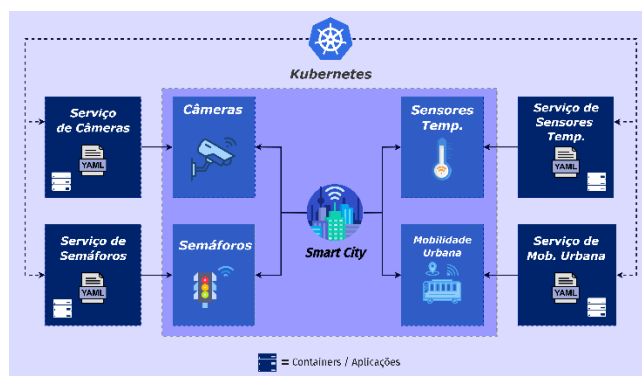
Containerização

De acordo com Matthias e Kane (2016), os contêineres não devem ser confundidos com *virtual machine* (VM), pois funcionam como uma camada leve de abstração sobre o sistema operacional, utilizando poucos recursos e iniciando rapidamente. Ao contrário da VM, os contêineres são efêmeros, podendo ser criados e destruídos com agilidade, o que os torna ideais para ambientes que exigem escalabilidade e eficiência no uso do *hardware*.

Kubernetes

Segundo Lukša (2018), o Kubernetes fornece abstração sobre a infraestrutura de hardware, permitindo o gerenciamento automatizado de aplicações em contêineres com foco em escalabilidade e resiliência. A plataforma utiliza objetos, entidades persistentes que representam o estado desejado do cluster, descritos em arquivos YAML, uma linguagem de serialização com elevada legibilidade, também denominados *manifests* (Kubernetes, 2025; YAML, 2021).

Figura 1: Kubernetes como orquestrador dos serviços de cidades inteligentes



Fonte: elaboração dos autores (2025).

Minikube

O Minikube é uma ferramenta de código aberto que permite criar rapidamente um *cluster* Kubernetes local em sistemas operacionais Linux, macOS e Windows (Minikube, 2025). Seu principal objetivo é auxiliar desenvolvedores de aplicações e novos usuários do Kubernetes, oferecendo uma maneira simples de executar um *cluster* de nó único em uma máquina local para fins de desenvolvimento e testes.

Large Language Model

Os modelos de LLM representam um avanço significativo em processamento de linguagem natural, possibilitando de tarefas simples como classificação a aplicações complexas com múltiplas etapas de raciocínio (Minaee *et al.*, 2025). Baseados na arquitetura Transformer, esses modelos utilizam um mecanismo de atenção capaz de analisar grandes quantidades de texto em paralelo e identificar relações entre palavras, tornando-os altamente eficientes para a compreensão de linguagem e geração de texto (Xu *et al.*, 2024).

Agentes de inteligência artificial

Os agentes de IA representam uma geração de sistemas inteligentes construídos sobre modelos LLM, transcendendo a simples geração de texto (Wang *et al.*, 2024; Shao *et al.*, 2025). São sistemas orientados a objetivos, capazes de planejar autonomamente, executar ações através de ferramentas e APIs e monitorar múltiplas etapas de uma tarefa. A implementação desses agentes é facilitada por protocolos como o MCP, que padroniza a comunicação entre LLM e sistemas externos (Hou *et al.*, 2025; Ray, 2025).

Model Context Protocol

O MCP é um protocolo aberto que facilita a comunicação entre LLM e sistemas externos de forma segura, extensível e padronizada (Ray, 2025). Opera sobre JSON-RPC 2.0, permitindo comunicação assíncrona e bidirecional entre cliente e servidor (Hou *et al.*, 2025). Sua estrutura define três componentes: o *host* (aplicação cliente), o cliente MCP (gerencia conexões) e o servidor MCP (expõe ferramentas e recursos). Essa separação de responsabilidades promove modularidade e facilita a manutenção, consolidando-se como base promissora para aplicações seguras com LLM, já adotada por empresas como OpenAI, Anthropic e Cloudflare.

Ferramentas de validação de configurações Kubernetes

Diversas ferramentas foram desenvolvidas para auxiliar na validação de arquivos de configuração Kubernetes. O Kubeval e seu sucessor, Kubeconform, realizam validação estática de schema, verificando se os arquivos YAML estão estruturalmente conformes com a especificação da API do Kubernetes (Kubeconform, 2023). O Datree amplia essa abordagem, permitindo a definição de políticas customizadas de boas práticas a serem verificadas automaticamente em pipelines de integração contínua (Datree, 2023). O Conftest, baseado no motor de políticas OPA (Open Policy Agent), possibilita validações mais expressivas por meio de regras escritas na linguagem Rego (Conftest, 2023). O kube-score, por sua vez, realiza análise estática atribuindo pontuações aos recursos com base em práticas recomendadas de segurança e confiabilidade (Kube-score, 2023).

Embora eficazes para verificações estruturais e conformidade com políticas predefinidas, essas ferramentas operam com base em regras estáticas, sem capacidade de raciocínio contextual. O AgentK diferencia-se ao empregar LLMs para interpretar semanticamente o conteúdo dos arquivos YAML, identificando falhas que demandam compreensão contextual e sugerindo correções de forma conversacional e adaptativa.

Metodologia

Ambiente experimental

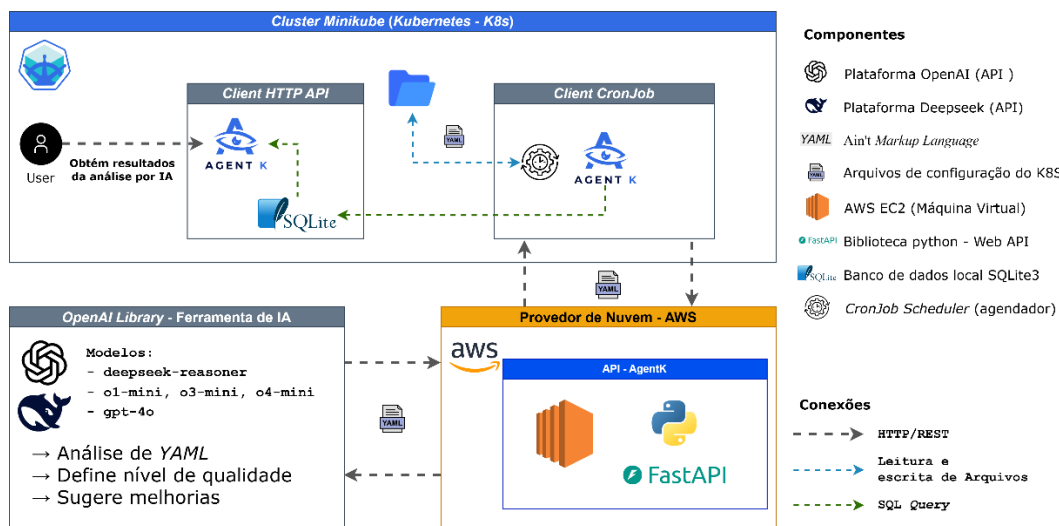
O AgentK foi desenvolvido em ambiente de laboratório utilizando Minikube, posteriormente hospedado na infraestrutura AWS. Conforme Kruger (2023), ambientes controlados permitem estabelecer condições próximas do ambiente real, identificando fenômenos que poderiam passar despercebidos. Foi utilizada uma máquina virtual com *Ubuntu Server 24.04 LTS*, configurada com 60 GB de armazenamento, 2 vCPUs e 4 GB de RAM, especificações consideradas mínimas para execução adequada. As versões utilizadas foram: Docker 27.3.1, kubectl 1.35.0 e Minikube 1.35. Detalhes de configuração e *deployment* estão disponíveis no repositório oficial do projeto (Olimpio *et al.*, 2025a).

Com base na documentação oficial do Kubernetes, foram definidas diretrizes de boas práticas que o AgentK utilizou como referência para avaliação. Entre elas incluíram-se: a definição explícita de

imagens com *tags*, o uso de *liveness probe*, a limitação de recursos, boas práticas de segurança e separação de configuração por *Secrets* e *ConfigMaps*. Essas recomendações foram incorporadas em um *prompt* de modelo de linguagem, disponível no repositório público do projeto, juntamente com um *schema* em formato JSON utilizado para padronizar as respostas do modelo e garantir consistência na análise (OLIMPIO *et al.*, 2025a).

A figura 2 ilustra a arquitetura desenhada para a primeira versão do AgentK. O fluxo iniciava-se no *client cronJob*, executado a cada cinco minutos, que extraía arquivos de extensão *.yaml* de uma pasta configurada como variável de ambiente no contexto do *cluster* Minikube. O conteúdo desses arquivos de configuração era encaminhado à API do AgentK, que realizava a interface com os grandes modelos de LLM, conforme *prompt* e *schema* de resposta definidos. As avaliações geradas pelo LLM (*score*, recomendações e relatório de falhas) eram mantidas em um banco de dados local SQLite e disponibilizadas por meio de uma API para visualização do usuário.

Figura 2 – Arquitetura inicial do AgentK: fluxo baseado em CronJob.



Fonte: elaboração dos autores (2025)

Durante o desenvolvimento do protótipo, foi identificada a necessidade de uma abordagem robusta e interativa para o sistema. A arquitetura inicial, baseada em *CronJob*, apresentou limitações de usabilidade e flexibilidade para interação em tempo real com o conteúdo dos arquivos de configuração do Kubernetes. Consequentemente, o sistema foi reestruturado, adotando o MCP e uma interface *web* conversacional; o servidor MCP expõe ferramentas indicadas no quadro 1, possibilitando um padrão para a comunicação entre o usuário e as interações com o modelo de linguagem.

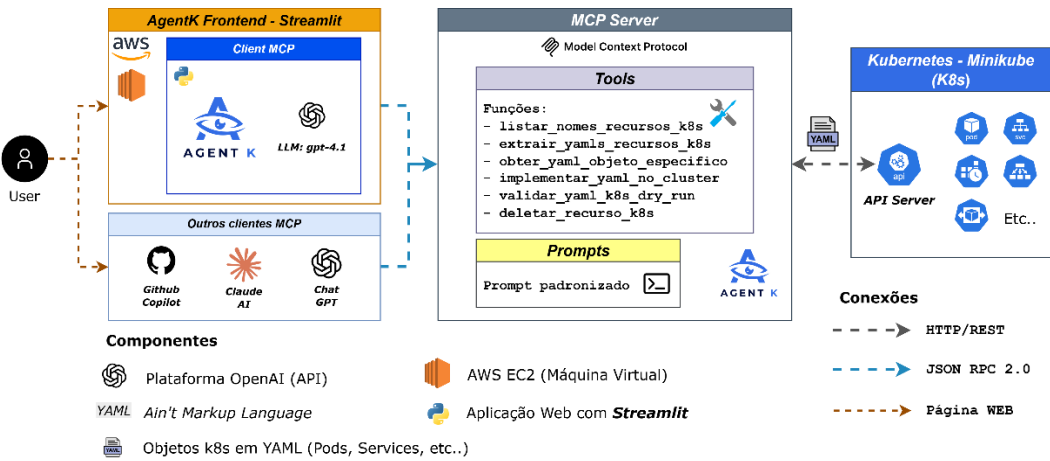
Quadro 1 – Descrição das funções desenvolvidas no servidor MCP.

Nome da função (Tool)	Descrição
listar_nomes_recursos_k8s	Lista recursos do <i>cluster</i> organizados por tipo (<i>Pods, Services, Deployments, Cronjobs, etc.</i>)
extrair_yaml_recursos_k8s	Extraí configurações YAML completas de recursos existentes
obter_yaml_objeto_especifico	Obtém configurações específicas por nome e <i>namespace</i>
implementar_yaml_no_cluster	Aplica recursos no <i>cluster</i> , com validação de estrutura do yaml
validar_yaml_k8s_dry_run	Valida estrutura YAML de um arquivo, sem a efetivação
deletar_recurso_k8s	Remove recursos específicos do <i>cluster</i>

Fonte: elaboração dos autores (2025).

A nova arquitetura está representada na figura 3. Desenvolveu-se um cliente *web (frontend)* utilizando o *Streamlit* como *framework Python* de interface gráfica, hospedado em uma instância AWS EC2 (*Elastic Cloud Computing*). O *frontend* implementa uma interface conversacional que permite ao usuário interagir em linguagem natural com o agente de IA que, por sua vez, pode executar ações diretamente no *cluster* Kubernetes através de *chat*. Integrou-se o modelo *gpt-4.1* como base do agente conversacional, que atua como especialista em configurações YAML Kubernetes, e um agente de boas práticas. O cliente estabelece comunicação com o servidor MCP através do protocolo JSON RPC 2.0, o padrão para o protocolo MCP. O servidor MCP, por sua vez, foi desenvolvido utilizando a biblioteca *python FastMCP*, atuando diretamente com as bibliotecas oficiais do Kubernetes *Python Client*. Tal servidor tem a proposta de disponibilizar funções específicas, que são executadas pela indicação do LLM.

Figura 3 – Arquitetura final do AgentK.



Fonte: elaboração dos autores (2025).

Seleção de arquivos YAML

Para validar o funcionamento da nova arquitetura, foram realizados testes independentes utilizando dez arquivos YAML obtidos do repositório oficial de exemplos do Kubernetes no Github (Kubernetes, [s.d.-b]), selecionados com base em dois critérios principais: compatibilidade com o ambiente experimental e diversidade de recursos. O critério de compatibilidade exigiu que cada arquivo representasse uma configuração executável no ambiente Minikube disponível, respeitando as limitações de hardware da máquina virtual utilizada, ou seja, os pods deveriam atingir o estado *Running* com razão 1/1 após a aplicação. Buscou-se também contemplar diferentes tipos de recursos Kubernetes, como *Deployments* de aplicações variadas, ainda que sem uma estratificação formal por tipo de recurso. Os arquivos selecionados representam configurações reais da plataforma e serviram como base para a inserção intencional das falhas descritas na próxima seção.

Tipos de falhas inseridas

Em cada um dos dez arquivos YAML selecionados foram inseridas intencionalmente três categorias de falhas, escolhidas por sua recorrência em ambientes Kubernetes reais e por permitirem a avaliação de capacidades distintas do AgentK.

A primeira categoria consiste em credenciais expostas, caracterizada pela presença de senhas, chaves ou outros dados sensíveis definidos diretamente no corpo do arquivo YAML, sem uso de recursos nativos do Kubernetes como *Secrets* ou *ConfigMaps*. Essa classe de falha representa um dos principais vetores de incidentes de segurança na plataforma (State of Kubernetes security report, 2022).

A segunda categoria refere-se à ausência de especificação de versão da imagem, situação em que o campo *image* é definido sem uma *tag* explícita ou com o uso da *tag latest*, tornando o ambiente suscetível a variações de comportamento entre implantações e dificultando a rastreabilidade das versões em produção.

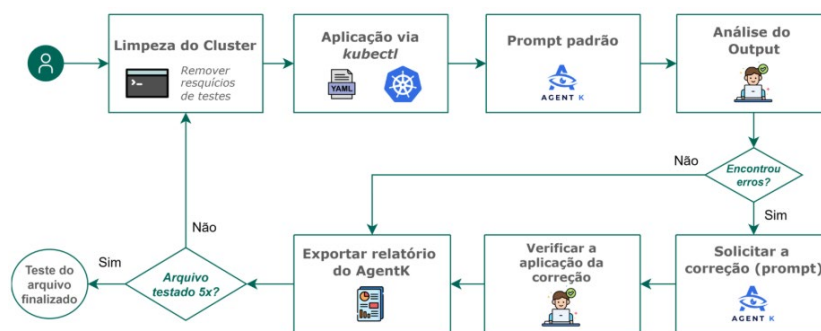
A terceira categoria engloba erros semânticos, que incluem inconsistências de *label mismatch* entre recursos relacionados (como *Deployment* e *Service*), referências a imagens inexistentes, comandos inválidos e caminhos incorretos em campos de configuração. Esse tipo de falha é

particularmente relevante por não ser detectável por validadores estáticos de schema, exigindo compreensão contextual do conteúdo do arquivo.

Protocolo de teste

Cada arquivo foi submetido a cinco rodadas de testes, totalizando 50 execuções do protocolo experimental, conforme o fluxo representado na figura 4. Cada rodada seguiu a sequência padronizada: limpeza do cluster via *kubectrl delete all --all -n default*; aplicação do arquivo com falhas via *kubectrl apply*; envio de prompt padrão ao AgentK solicitando análise e correção das falhas e verificação do estado final dos *pods* via *kubectrl get pods*, considerando sucesso apenas os cenários em que todos os *pods* atingiram o estado *Running* com razão 1/1. Os registros de cada sessão estão disponíveis no repositório público do projeto (Olimpio et al., 2025b).

Figura 4: Passo a passo do teste de detecção de erro do AgentK.



Fonte: elaboração dos autores (2025).

Limitações

O presente estudo apresenta limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, foram avaliados apenas três tipos de falhas: credenciais expostas, ausência de tag de imagem e erros semânticos. Trata-se de delimitação adotada por razões práticas de escopo, que não representa a totalidade de falhas recorrentes em ambientes Kubernetes reais, como ausência de NetworkPolicies, uso de privilégios elevados (*runAsRoot*) ou configurações inadequadas de RBAC. Em segundo lugar, os testes foram conduzidos em cluster Minikube de nó único com recursos de hardware restritos, o que pode não refletir o comportamento do sistema em infraestruturas de produção de maior escala. Por fim, os dez arquivos YAML utilizados, embora obtidos do repositório oficial do Kubernetes, não cobrem a totalidade de tipos de recursos da plataforma, limitando a generalização dos resultados. A

expansão do conjunto de falhas, ambientes e tipos de recursos constitui direção prioritária para trabalhos futuros.

Resultados e discussão

O quadro 2 apresenta os resultados preliminares obtidos durante essa fase de testes. Foram avaliados 8 modelos diferentes: gpt-4o, o4-mini, o3-mini, o1-mini, gpt-4.1, o1, gpt-3.5-turbo e deepseek-reasoner; alguns modelos avaliados podem ter sido descontinuados posteriormente, porém estavam disponíveis no período em que foram feitos os testes e foram considerados relevantes para comparação. Cada modelo foi avaliado de maneira independente, registrando-se tempo de resposta, quantidade de *input* e *output tokens*, custo em dólares por 100 requisições e a quantidade de problemas identificados corretamente dentre as três presentes no arquivo de teste. Todas as execuções utilizaram o mesmo *prompt*, o mesmo *schema* JSON. Os testes foram realizados em maio de 2025 e os custos foram calculados, sendo possível ver os preços das API na data dos experimentos.

Quadro 2 - Resultados preliminares obtidos com a utilização do software AgentK.

Modelo	Input tokens	Output tokens	Tempo de resposta	Custo / 10 requisições (US\$)	Credenciais expostas	Versão de imagem	Erro de sintaxe
gpt-4o	1198	1056	1 min 32 s	0,14	Detectado	Não detectado	Detectado
o4-mini	1197	3458	1 min 56 s	0,17	Detectado	Detectado	Detectado
o3-mini	1197	1338	0 min 13 s	0,07	Detectado	Não detectado	Detectado
gpt-4.1	1198	1180	0 min 55 s	0,12	Detectado	Não detectado	Detectado
o1	1197	6187	0 min 46 s	3,89	Detectado	Detectado	Detectado
gpt-3.5-turbo	1202	749	0 min 12 s	0,02	Detectado	Não detectado	Detectado
deepseek-reasoner	1326	8082	4 min 18 s	0,18	Detectado	Não detectado	Detectado

Fonte: elaboração dos autores (2025)

Com base nesses dados técnicos e operacionais, foi selecionado o modelo gpt-4.1 para a implementação final. Embora os modelos o3-mini e gpt-3.5-turbo tenham apresentado assertividade equivalente na detecção de erros, com custo e tempo de resposta menores, ambos foram descartados por razões distintas: o gpt-3.5-turbo foi oficialmente descontinuado pela OpenAI durante o período de desenvolvimento do projeto, tornando-o inviável para uso em produção; já o o3-mini, apesar de disponível, não oferecia compatibilidade nativa com a API *completions* já

implementada na arquitetura do AgentK, o que exigiria refatoração significativa do código de integração sem ganho proporcional em desempenho. O modelo o4-mini, por sua vez, embora tenha alcançado 100% de acurácia na detecção, também apresentou limitações de integração com a API *completions*, além de custo aproximadamente 28,5% superior ao gpt-4.1. Dessa forma, o gpt-4.1 mostrou-se a escolha mais equilibrada nos quesitos custo, desempenho e compatibilidade arquitetural, enquanto o uso de o1 permaneceu inviável em escala devido ao custo elevado.

Os experimentos realizados com o AgentK permitiram avaliar sua capacidade de detectar falhas em arquivos de configuração do Kubernetes e o desempenho dos modelos de linguagem empregados na análise. Para a validação do sistema, foram utilizados dez arquivos YAML obtidos da documentação oficial do Kubernetes, que representam configurações reais de recursos da plataforma. Esses arquivos serviram como base para os testes de detecção e correção de erros, sendo inseridos propositalmente três tipos de falhas recorrentes (credenciais expostas, ausência de especificação da versão da imagem e erro de sintaxe no campo *readinessProbe*) a fim de garantir uniformidade e comparabilidade nos resultados. A tabela 1 mostra o percentual de sucesso na detecção dos erros.

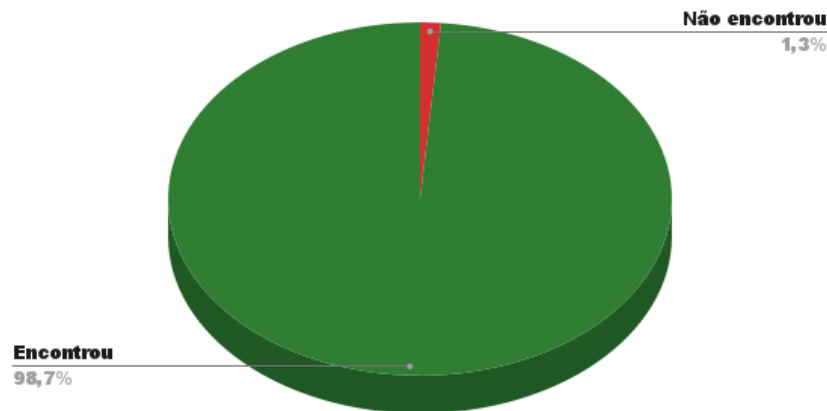
Tabela 1 – Resultados de detecção de erros obtidos com a utilização do AgentK.

Arquivo	Detecção de erro de credenciais expostas (%)	Detecção de erro semântico (%)	Detecção de erro de versão de imagem (%)
1-orion.yaml	100	100	100
2-frontend.yaml	100	100	100
3-mysql.yaml	100	60	100
4-vllm.yaml	100	100	100
5-nginx.yaml	100	100	100
6-selenium.yaml	100	100	100
7-elasticsearch.yaml	100	100	100
8-newrelic.yaml	100	100	100
9-storm.yaml	100	100	100
10-mongodb.yaml	100	100	100
Acurácia	100	96	100

Fonte: elaboração dos autores (2025)

No processo, foi utilizado *prompt* padrão para as solicitações ao agente na detecção dos erros credenciais expostas, erro semântico e versão da imagem. O teste foi repetido 5 vezes para cada arquivo, totalizando 150 testes, nos quais o AgentK encontrou o erro corretamente 148 vezes, como resultado global mostrado no gráfico 1.

Gráfico 1: Precisão na detecção de erros do AgentK.



Fonte: elaboração dos autores (2025)

Para cada um desses arquivos, foi realizado o teste de correção automática. Neste teste, após a detecção do erro, o usuário solicita via *chat* ao AgentK sugerir e implantar a correção necessária para corrigir o problema. A tabela 2 mostra os resultados para cada arquivo.

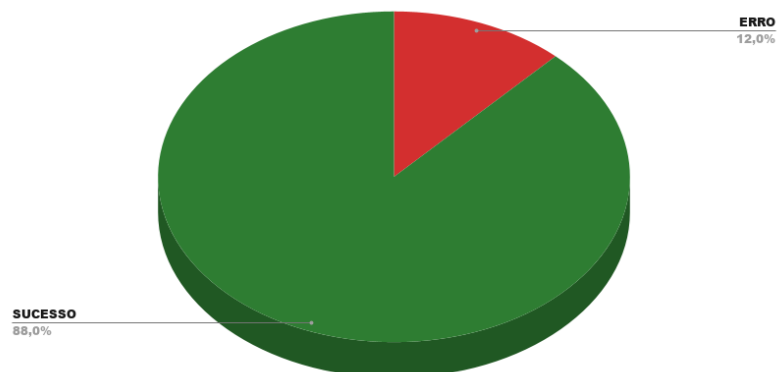
Tabela 2 - Resultados de sucesso na aplicação de correção automática com a utilização do AgentK.

Arquivo	Sucesso na correção automática (%)
1-orion.yaml	100
2-frontend.yaml	100
3-mysql.yaml	60
4-vllm.yaml	80
5-nginx.yaml	80
6-selenium.yaml	80
7-elasticsearch.yaml	100
8-newrelic.yaml	100
9-storm.yaml	100
10-mongodb.yaml	80
Acurácia	88

Fonte: elaboração dos autores (2025).

Novamente, o teste foi repetido cinco vezes para cada arquivo. Os resultados de precisão da implementação das correções também são muito importantes para confirmar a eficiência do AgentK. O gráfico 2 mostra de forma clara o resultado global de sucesso e erro das implementações, caracterizando como sucesso apenas os cenários em que os erros foram totalmente sanados e o respectivo *pod* passou a rodar normalmente após a correção.

Gráfico 2: Resultado global dos testes de correção automática nos arquivos YAML.



Fonte: elaboração dos autores (2025)

Para cada um dos processos de requisição, é possível obter a quantidade de *tokens* de entrada, a quantidade de *tokens* de saída e o tempo utilizado até receber a resposta. A tabela 3 traz o resultado médio para cada arquivo de exemplo testado; o custo foi multiplicado por dez para se chegar a valores mensuráveis e de melhor entendimento.

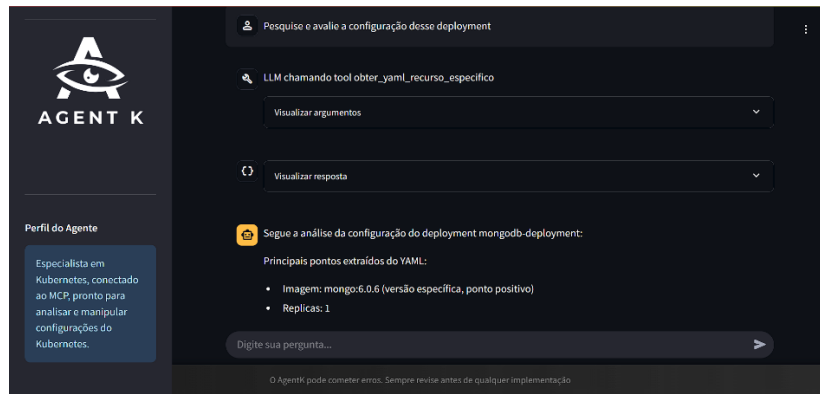
Tabela 3 - Desempenho com a utilização do AgentK em sua nova arquitetura.

Arquivo	Média tokens de entrada	Média tokens de saída	Tempo médio de resposta	Custo / 10 sessões no AgentK (US\$)
1-orion.yaml	6998	153	0,29	0,15
2-frontend.yaml	22070	730	0,74	0,50
3-mysql.yaml	9675	1467	3,94	0,31
4-vllm.yaml	11622	663	0,93	0,29
5-nginx.yaml	12133	449	0,7	0,28
6-selenium.yaml	20618	669	1,27	0,47
7-elasticsearch.yaml	6244	58	0,37	0,13
8-newrelic.yaml	6022	62	0,31	0,13
9-storm.yaml	5903	137	0,47	0,13
10-mongodb.yaml	5722	58	0,46	0,12

Fonte: elaboração dos autores (2025)

A figura 5 ilustra o AgentK em operação no ambiente de teste, demonstrando a análise de um *deployment* ativo no *cluster* Kubernetes. Nessa etapa, o sistema identifica boas práticas de configuração, como o uso adequado de *labels*, a definição explícita de *requests* e *limits* de recursos e a consistência das informações no metadado. O AgentK processa o arquivo YAML e apresenta o resultado de forma estruturada e compreensível, evidenciando sua capacidade de interpretação contextual e validação automática de boas práticas.

Figura 5: AgentK em funcionamento.



Fonte: elaboração dos autores (2025)

Considerações finais

O AgentK demonstrou-se como alternativa inovadora de aplicação de LLM ao Kubernetes, oferecendo identificação e correção inteligente de erros em arquivos YAML. Os resultados confirmaram que a integração do MCP com interface conversacional detecta erros de configuração de forma prática e eficiente, permitindo implementação automática de correções. Contudo, o estudo revelou pontos que necessitam de melhoria: ampliação de cobertura de segurança, experimentação com diferentes LLM e testes envolvendo outros tipos de *misconfigurations*.

O AgentK constitui contribuição relevante para a aplicação de Inteligência Artificial em Kubernetes, consolidando-se como campo fértil para investigações futuras em infraestrutura e cidades inteligentes.

Referências

- ALHAMAZANI, Khalid; *et al.* An overview of the commercial cloud monitoring tools: research dimensions, design issues, and state-of-the-art. **arXiv**, 2013. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1312.6170>. Acesso em: 12 maio 2025.
- BBC NEWS. Tesla investigates claims of crypto-currency hack. 2018. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-43140005>. Acesso em: 12 maio 2025.
- BEENA, G. M.; RAJENDRAN, N.; THANGARAJ, M.; THOMAS, C. D. Adaptive energy optimization in cloud computing through containerization. **IEEE Access**, v. 13, p. 10478-10491, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3536231>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10888964>. Acesso em: 13 set. 2025.
- BUCHANAN, Randy. Smart cities – a structured literature review. **Smart Cities**, v. 6, n. 4, p. 1719-1743, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/smartcities6040080>. Acesso em: 17 set. 2025.
- BUSINESS RESEARCH INSIGHTS. Kubernetes Solutions Market. Disponível em: <https://www.businessresearchinsights.com/pt/market-reports/kubernetes-solutions-market-101114>. Acesso em: 31 maio 2025
- CLOUD NATIVE COMPUTING FOUNDATION. Cloud Native 2024: Approaching a Decade of Code, Cloud, and Change – 2024 CNCF Annual Survey. San Francisco: CNCF / The Linux Foundation, abril 2025. Disponível em: https://www.cncf.io/wp-content/uploads/2025/04/cncf_annual_survey24_031225a.pdf. Acesso em: 08 nov. 2025.
- GLASPER, Gustav. kube-score: Kubernetes object analysis with recommendations for improved reliability and security. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em: <https://github.com/zegl/kube-score>. Acesso em: 20 junho 2026.
- GRACIAS, Jose Sanchez; PARNELL, Gregory S.; SPECKING, Eric; POHL, Edward A.; HAMON, Yann. Kubeconform: *a fast Kubernetes manifests validator, with support for Custom Resources*. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em: <https://github.com/yannh/kubeconform>. Acesso em: 20 junho 2026.
- HOU, Zhenyu; LI, Ming; ZHANG, Wei; CHEN, Kai. *Model Context Protocol (MCP): Landscape, security threats, and opportunities*. **arXiv preprint** arXiv:2503.09876, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2503.09876>. Acesso em: 14 set. 2025.
- JIANG, Y.; SHAO, Y.; MA, D.; SEMNANI, S.; LAM, M. Into the unknown unknowns: engaged human learning through participation in language model agent conversations. **arXiv preprint** arXiv:2408.15232, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2408.15232>. Acesso em: 3 nov. 2025.
- KUBERNETES. **Kubernetes documentation**. [S.l.: s.n.], [s.d.-a]. Disponível em: <https://kubernetes.io/docs/home/>. Acesso em: 10 maio 2025.
- KUBERNETES. Examples. [S.l.: s.n.], [s.d.-b]. Disponível em: <https://github.com/kubernetes/examples>. Acesso em: 10 nov. 2025.
- KRUGER, Juliano Milton. **Metodologia da pesquisa em Administração**: em linguagem descomplicada. 1. ed. Curitiba: Editora Bagai, 2023. ISBN 978-65-5368-212-2.
- LUKŠA, Marko. **Kubernetes in action**. Shelter Island: Manning Publications, 2018. ISBN 978-1-61729-372-6.
- MATTHIAS, Karl; KANE, Sean P. **Primeiros passos com Docker**: usando contêineres em produção. Tradução de Alison Miazaki. 1. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2016. ISBN 978-85-7522-473-1.
- MINAEE, Shervin; et al. Large language models: a survey. **arXiv**, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2402.06196>. Acesso em: 8 maio 2025.
- MINIKUBE. Documentação do Minikube. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em: <https://minikube.sigs.k8s.io/docs/>. Acesso em: 8 maio 2025.

MURALIDHARAN, Shapna; SONG, Gyuwon; KO, Heedong. Monitoring and managing IoT applications in smart cities using Kubernetes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART CITIES, CLOUD, BIG DATA EMERGING TOPICS – SMART 2019, 2019, Venice. Anais [...]. [S.l.]: IARIA, 2019. p. 1–6. ISBN 978-1-61208-703-0. ISSN 2308-4294. Disponível em: https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=smart_2019_1_20_80010. Acesso em: 11 maio 2025.

NIEDERMAIER, Manuel; et al. On observability and monitoring of distributed systems: an industry interview study. **arXiv**, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1907.12240>. Acesso em: 16 set. 2025.

NIST. The NIST definition of cloud computing. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2011. (Special Publication 800-145).

OLIMPIO, Vinicius Gabriel da Silva; SANTANA, Cleber dos Santos; NEVES, David Santos Pinheiro das; SILVA, Wilson Pereira da. AgentK. São Bernardo do Campo: [s.n.], 2025a. Disponível em: <https://github.com/viniolimpio3/AgentK/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

OLIMPIO, Vinicius Gabriel da Silva; SANTANA, Cleber dos Santos; NEVES, David Santos Pinheiro das; SILVA, Wilson Pereira da. AgentK-MCP. São Bernardo do Campo: [s.n.], 2025b. Disponível em: <https://github.com/viniolimpio3/AgentK-MCP/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

OPENAI. OpenAI Platform. San Francisco: OpenAI, 2025. Disponível em: <https://platform.openai.com>. Acesso em: 17 nov. 2025.

OPEN POLICY AGENT. ConfTest: write tests against structured configuration data using the Open Policy Agent Rego query language. [S.l.: s.n.], 2025. Disponível em: <https://github.com/open-policy-agent/confTest>. Acesso em: 20 de junho de 2026.

POURMAJIDI, Amir; et al. On challenges of cloud monitoring. **arXiv**, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1806.05914>. Acesso em: 16 set. 2025.

RAY, João. A survey on model context protocol. **arXiv** preprint arXiv:2501.12345, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2501.12345>. Acesso em: 15 set. 2025.

SENEL, Berat Can; MOUCHET, Maxime; CAPPOS, Justin; FOURMAUX, Olivier; FRIEDMAN, Timur; MCGEER, Rick. Multitenant Containers as a Service (CaaS) for Clouds and Edge Clouds. **arXiv**, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2304.08927.pdf>. Acesso em: 17 set. 2025.

STATE of Kubernetes security report 2022. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://www.redhat.com/rhdc/managed-files/cl-state-of-kubernetes-security-report-2022-ebook-f31209-202205-en.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.

UN-HABITAT. **World Cities Report 2022**: Envisaging the Future of Cities. Nairobi United Nations Human Settlements Programme, 2022. Disponível em: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2022>. Acesso em: 17 set. 2025.

UNITED NATIONS. The World's Cities in 2018 – Data Booklet. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2018. (ST/ESA/SER.A/417). Disponível em: https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

WANG, L.; MA, C.; FENG, X.; ZHANG, Z.; YANG, H.; ZHANG, J.; CHEN, Z.; TANG, J.; CHEN, X.; LIN, Y.; ZHAO, W. X.; WEI, Z.; WEN, J. R. A survey on large language model based autonomous agents. **Frontiers of Computer Science**, v. 18, n. 6, p. 186345, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11704-024-40231-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11704-024-40231-1>. Acesso em: 3 nov. 2025.

XU, Hanxiang; et al. Large Language Models for Cyber Security: a Systematic Literature Review. **arXiv** preprint **arXiv**:2405.04760, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2405.04760>. Acesso em: 15 set. 2025.

YAML. YAML — YAML Ain't Markup Language™: revision 1.2.2. [S.l.]: YAML.org, 2021. Disponível em: <https://yaml.org/>. Acesso em: 10 maio 2025.

Lumitemp: sistema para monitoramento e secagem de motores elétricos usando IOT

System for monitoring the drying of electric motors using IoT

Engenharia de Computação

Enzo Brito Alves de Oliveira (enzobrito2003@hotmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Erikson Vieira Queiroz (erikson.vieira@hotmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Guilherme Alves Barbosa (guilhermelondres10@hotmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Heitor Santos Ferreira (heitor.santos.ferreira211203@gmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Tainara do Nascimento Casimiro (tainara.casimiro@hotmail.com)

Graduada em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

William Santim (willsantim@hotmail.com)

Graduado em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

Márcio Rodrigues da Silva (pro10964@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026

• ISSN 2525-8729

Submissão: 11 dez. 2024 Aceitação: 22 maio 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 126 – p. 156

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle térmico para uma estufa destinada à secagem de motores elétricos. A solução integra Internet das Coisas (IoT), sistemas embarcados e a arquitetura de software Modelo-Visão-Controlador (MVC). A dinâmica térmica da planta foi modelada matematicamente, explorando fenômenos de transporte como condução, convecção e a resistência térmica do ar, além da geração de calor por efeito Joule na resistência elétrica. O hardware utiliza o módulo ESP-32 para a aquisição de dados de temperatura em tempo real e atuação dinâmica sobre o sinal PWM responsável pelo aquecimento. O controle foi avaliado em dois cenários: malha aberta, devido à sua simplicidade e baixo custo, e malha fechada, empregando um controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) para maior precisão e estabilidade térmica. A infraestrutura MVC organiza as funções do sistema e promove a modularidade, integrando-se ao Orion Context Broker para o monitoramento remoto. Os resultados demonstram a eficácia da abordagem, garantindo uniformidade no processo de secagem, otimização energética e manutenção de condições ideais para os equipamentos.

Palavras-chave: Controle Térmico. Sistemas Embarcados. Secagem de Motores Elétricos.

Abstract

This article presents the development of a thermal control system for an oven dedicated to the drying process of electric motors. The solution integrates Internet of Things (IoT), embedded systems, and the Model-View-Controller (MVC) software architecture. The thermal dynamics of the plant were mathematically modeled, exploring transport phenomena such as conduction, convection, and air thermal resistance, in addition to Joule heating generated by the electric resistance. The hardware utilizes an ESP-32 module for real-time temperature data acquisition and dynamic actuation via a PWM signal responsible for heating. The control performance was evaluated in two scenarios: open-loop, due to its simplicity and low cost, and closed-loop, employing a Proportional-Integral-Derivative (PID) controller for greater precision and thermal stability. The MVC infrastructure organizes system functions and promotes modularity, integrating with the Orion Context Broker for remote monitoring. Results demonstrate the effectiveness of the approach, ensuring uniformity in the drying process, energy optimization, and the maintenance of ideal conditions for the equipment.

Keywords: Thermal Control. Embedded Systems. Electric Motor Drying.

Introdução

A manutenção e a recuperação de motores elétricos são atividades críticas no ambiente industrial moderno. Durante processos de rebobinagem, manutenção preventiva ou após exposição a ambientes severos, a isolação dos enrolamentos sofre degradação e absorve umidade, tornando estritamente necessária a secagem térmica para restaurar a resistência de isolamento e prevenir curtos-circuitos. Historicamente, essa etapa de secagem é realizada em estufas, onde o controle rigoroso da temperatura é essencial: o subaquecimento prolonga ineficientemente o processo, enquanto o superaquecimento pode comprometer irremediavelmente a vida útil do equipamento.

Apesar de sua importância operacional, muitas estufas industriais ainda operam de forma subótima. O controle térmico tradicionalmente empregado costuma ser rudimentar, baseando-se em sistemas de malha aberta que não compensam perturbações externas, ou dependendo de monitoramento manual contínuo. Esse cenário acarreta instabilidades térmicas, elevado consumo energético e risco de falhas no processo de secagem, evidenciando uma lacuna tecnológica que onera a eficiência produtiva.

Nesse contexto, a ascensão da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas (IoT), originada da computação ubíqua, oferece um novo paradigma para a automação e o monitoramento industrial. A integração da IoT em estufas viabiliza a coleta de dados em tempo real e o controle automatizado, otimizando processos, melhorando a gestão energética e possibilitando estratégias de manutenção preditiva. Embora a adoção dessas tecnologias enfrente desafios históricos, como a falta de padronização e dificuldades de integração, tais barreiras podem ser superadas mediante o emprego de protocolos de comunicação adequados e padrões arquiteturais abertos.

Para preencher essa lacuna, este estudo propõe a implementação do sistema LumiTemp: uma plataforma fundamentada em IoT para o controle térmico de estufas destinadas à secagem de motores elétricos. O projeto visa resolver instabilidades térmicas e garantir um ambiente rigorosamente controlado, avaliando o desempenho comparativo entre estratégias de controle em malha aberta e malha fechada (PID). A solução integra sistemas embarcados e a arquitetura Modelo-Visão-Controlador (MVC), facilitando a tomada de decisões por meio da análise de dados em tempo real e oferecendo uma alternativa inovadora, eficiente e sustentável para o setor.

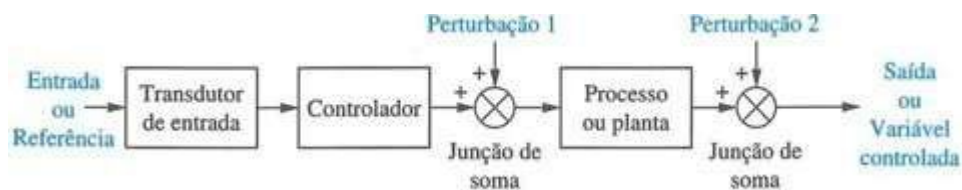
Revisão de literatura e fundamentação teórica

Teoria da automação e controle

A automação industrial moderna baseia-se na capacidade de gerenciar o comportamento de sistemas dinâmicos para que operem de forma previsível e segura. No contexto de processos térmicos, um sistema de controle busca, fundamentalmente, manipular as variáveis físicas para que elas atinjam e mantenham uma saída desejada a partir de uma entrada de referência (*setpoint*).

Historicamente, e muitas vezes por razões de simplificação de custos, diversas plantas operam com topologias de controle em malha aberta. Nessa configuração, o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparação com a entrada. Isso impede ajustes automáticos caso ocorram anomalias no processo, tornando o sistema dependente exclusivamente do sinal inicial programado para o funcionamento dos atuadores e altamente suscetível a distúrbios externos (Nise, 2017); esse comportamento, está devidamente ilustrado na figura 1.

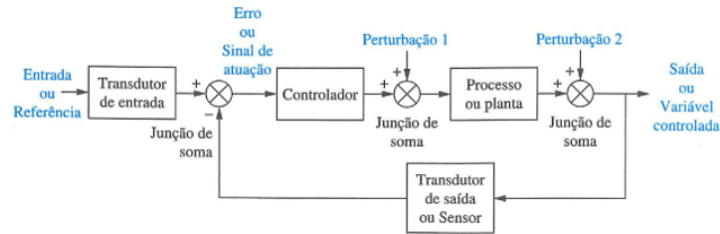
Figura 1: Representação genérica de um sistema de controle em malha aberta.



Fonte: Nise (2017).

Por outro lado, conforme demonstrado na figura 2, para processos industriais críticos, onde variações bruscas de temperatura podem causar danos estruturais, a Engenharia de Controle exige o uso de sistemas em malha fechada. Estes sistemas estabelecem uma relação de comparação contínua entre a saída real e o valor desejado. A diferença entre esses valores gera um sinal de erro, que atua realimentando o controlador para ajustar o esforço de controle de forma dinâmica, compensando imediatamente os efeitos de perturbações externas (Ogata, 2010).

Figura 2: Representação genérica de um sistema de controle em malha fechada.



Fonte: Nise (2017)

Para lidar com a inércia térmica inerente a estufas, o controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) consolidou-se como a abordagem padrão na indústria. Esse algoritmo une três ações matemáticas corretivas: a ação proporcional (P) responde instantaneamente ao erro atual; a ação integral (I) atua eliminando o erro acumulado em regime permanente; e a ação derivativa (D) previne variações bruscas, atuando como um amortecedor para a curva de aquecimento (Silva *et al.*, 2025).

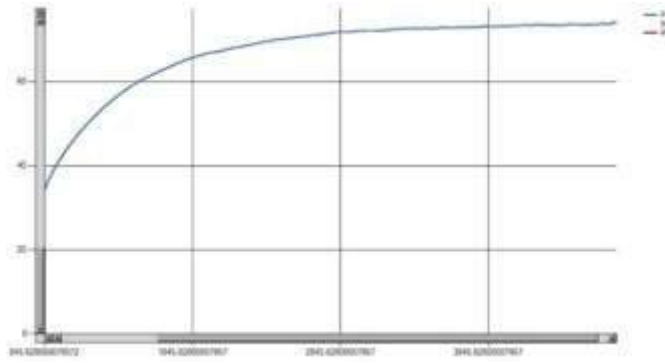
Modelagem térmica e fenômenos de transporte

Antes de aplicar qualquer lógica de controle, é imperativo compreender o comportamento físico do ambiente que será automatizado. O aquecimento interno de uma câmara de secagem não é instantâneo e está sujeito a complexos fenômenos de transporte.

No sistema proposto, a injeção de energia térmica fundamenta-se nos princípios da Termodinâmica, ocorrendo através da dissipação de potência de uma resistência elétrica regida pelo Efeito Joule. A eficiência com que esse calor gerado é transferido para o ar confinado e, consequentemente, para o motor elétrico, depende de processos de convecção, descritos pela Lei de Resfriamento de Newton, e das perdas por condução através das paredes da estufa, modeladas pela Lei de Fourier (Santos, 2022; Prates, 2016).

Conforme demonstrado na figura 3, devido à sua característica natural de acumular e ceder calor gradativamente, a estufa comporta-se, na perspectiva da engenharia de controle, como um sistema térmico de primeira ordem. O comportamento transitório desse modelo físico, ao receber um degrau de tensão constante, descreve uma curva de aquecimento exponencial que se prolonga até atingir o equilíbrio térmico.

Figura 3: Curva de resposta térmica de um sistema de primeira ordem.



Fonte: elaboração dos autores (2024)

Para parametrizar o controlador PID adequadamente, esse comportamento físico precisa ser traduzido matematicamente. No domínio da frequência, aplicando-se a Transformada de Laplace, a relação entre a temperatura interna (Variável de Processo, $Y(s)$) e a tensão aplicada (Variável Manipulada, $X(s)$) resulta na função de transferência genérica da planta:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

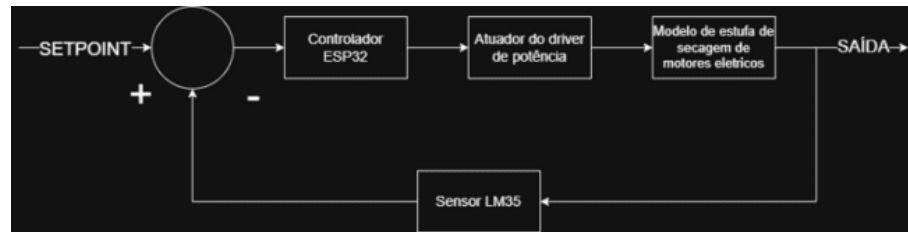
Nesta equação, a constante de ganho estático (K) representa a variação da temperatura em regime permanente para cada incremento no esforço de controle (Δu), sendo definida por $K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$. Por sua vez, a constante de tempo (τ) quantifica a inércia térmica da estufa, correspondendo ao tempo necessário para que a temperatura alcance 63,2% de sua variação total esperada.

Operar esse sistema em malha aberta reflete diretamente a dinâmica natural da planta ($G_a(s)$). No entanto, ao empregar a malha fechada, o sistema realoca o ganho e a inércia da planta no denominador da equação característica global ($G_f(s)$), alterando profundamente sua dinâmica para garantir a estabilidade e a rejeição a distúrbios:

$$G_f(s) = \frac{K}{\tau s + 1 + K}$$

A implementação física desta realimentação no projeto LumiTemp pode ser observada no diagrama de blocos do sistema térmico da figura 4, onde o processador embarcado ajusta continuamente o PWM da resistência com base nas leituras instantâneas do sensor, fechando assim a malha de controle.

Figura 4: Diagrama de blocos do sistema térmico



Fonte: elaboração dos autores (2026)

Internet das coisas (IoT) aplicada à indústria

A adoção da IoT (*Internet of Things*) transformou a automação industrial, originando o paradigma da Indústria 4.0. Em estufas, a integração de nós de sensores sem fio viabiliza a coleta de dados de temperatura em tempo real e o ajuste automatizado das variáveis físicas, mitigando o risco de falhas operacionais humanas e otimizando a eficiência do processo de secagem (Rocha, 2023).

Pesquisas contemporâneas demonstram a eficácia da utilização de processadores embarcados com Wi-Fi nativo, como o módulo ESP-32, em conjunto com bancos de dados relacionais e plataformas gráficas (*dashboards*), para a supervisão remota de parâmetros térmicos com excelente relação custo-benefício (SATURI, 2022). A principal vantagem dessa integração é permitir a parametrização remota, através da qual ganhos e calibrações do equipamento podem ser ajustados via internet sem a necessidade de intervenção física no chão de fábrica. Contudo, a expansão massiva dessas arquiteturas distribuídas exige atenção rigorosa às diretrizes de segurança da informação, visto que a vulnerabilidade de dispositivos na borda da rede (*edge*) e a interceptação de pacotes representam desafios críticos para a integridade dos processos e proteção dos dados industriais (Sheng et al., 2022).

Arquitetura de software Modelo-Visão-Controlador (MVC)

No contexto de sistemas supervisórios modernos e IoT, a estruturação do software é essencial para gerenciar o grande e constante fluxo de dados telemétricos oriundos da planta física. O padrão arquitetural Modelo-Visão-Controlador (MVC) organiza as funcionalidades da aplicação de forma estritamente modular, sendo amplamente adotado no desenvolvimento web e no de sistemas distribuídos.

O "Modelo" (*Model*) abstrai as regras de negócio e gerencia a estrutura de dados e o armazenamento no banco de dados relacional; a "Visão" (*View*) fornece a interface gráfica do usuário para o acompanhamento da evolução térmica e emissão de alertas em tempo real; por fim, o "Controlador" (*Controller*) atua como intermediário, processando a lógica de integração, recebendo as requisições da interface e gerenciando os *payloads* trafegados com o hardware. A aplicação do padrão MVC transcende o desenvolvimento web tradicional, mostrando-se altamente eficaz na estruturação de arquiteturas para a integração automatizada de sensores e simulações físicas, pois garante alta coesão e modularidade na coleta de dados (Jesus Júnior, 2026). Essa separação facilita manutenções futuras, a escalabilidade da planta e a integração simplificada com *brokers* de mensagens MQTT para estratégias de manutenção preditiva.

Materiais e métodos

A metodologia aplicada neste projeto caracteriza-se como uma pesquisa aplicada e experimental. Com a fundamentação teórica e a modelagem matemática estabelecidas, o desenvolvimento do protótipo LumiTemp foi dividido em três frentes de implementação: a infraestrutura de *hardware* na borda, a topologia de rede IoT e a arquitetura do sistema supervisor de banco de dados.

Infraestrutura de hardware e aquisição de dados

A concepção física do protótipo foi desenvolvida para simular a dinâmica térmica de uma estufa industrial, adotando componentes que mimetizam a robustez exigida no chão de fábrica. O processamento na borda da rede (*edge computing*) é gerido pelo microcontrolador ESP32. A escolha deste *hardware* justifica-se não apenas pelo seu custo-benefício, mas pela sua arquitetura *dual-core* Xtensa LX6, operando a 240 MHz, que permite a implementação de paralelismo real através do sistema operacional de tempo real nativo, o FreeRTOS (Silva *et al.*, 2025).

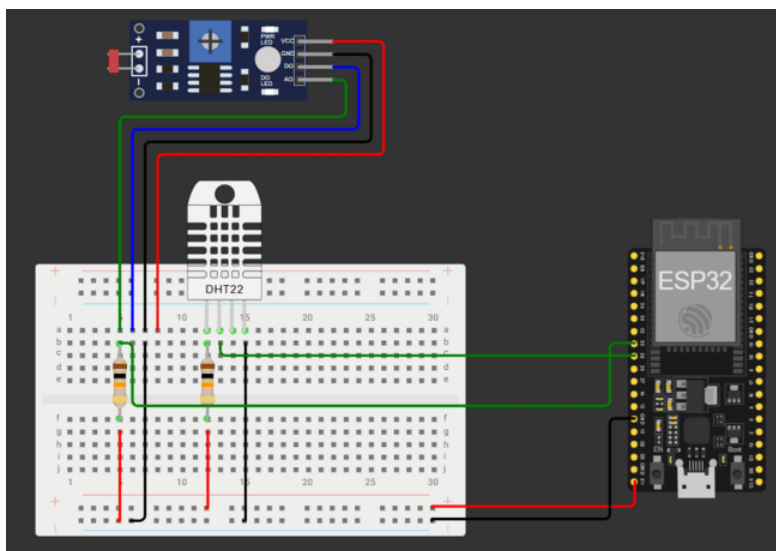
Através da técnica de alocação de tarefas (*Task Pinning*), o projeto garantiu que o Núcleo 0 (PRO_CPU) gerenciasse exclusivamente a pilha de protocolos de rede Wi-Fi e rotinas assíncronas do MQTT. Simultaneamente, o Núcleo 1 (APP_CPU) foi dedicado à execução determinística da malha

de controle PID e à leitura de sensores. Essa segregação arquitetural impede que latências de rede ou perdas de conexão interrompam o cálculo crítico de aquecimento da estufa.

O monitoramento da Variável de Processo (PV), ou seja, a temperatura interna, é realizado por um sensor digital DHT22, acoplado diretamente aos pinos GPIO do ESP32. Esta topologia de fio único (*single-wire*) blinda a aquisição contra ruídos eletromagnéticos industriais (Costa; Cavalcante, 2026). Devido às restrições do transdutor capacitivo integrado ao módulo, a taxa de amostragem foi configurada para operar a 0,5 Hz (uma leitura a cada dois segundos). Esta frequência é perfeitamente adequada à aplicação, visto que o sistema térmico apresenta alta inércia, dispensando amostragens em milissegundos.

Como boa prática de Engenharia, antes da montagem física, a topologia do circuito e a lógica de comunicação foram validadas em um ambiente de simulação virtual usando a plataforma Wokwi, fato que pode ser conferido na figura 5, cujo procedimento acaba permitindo a depuração prévia do código e do seu funcionamento no sistema.

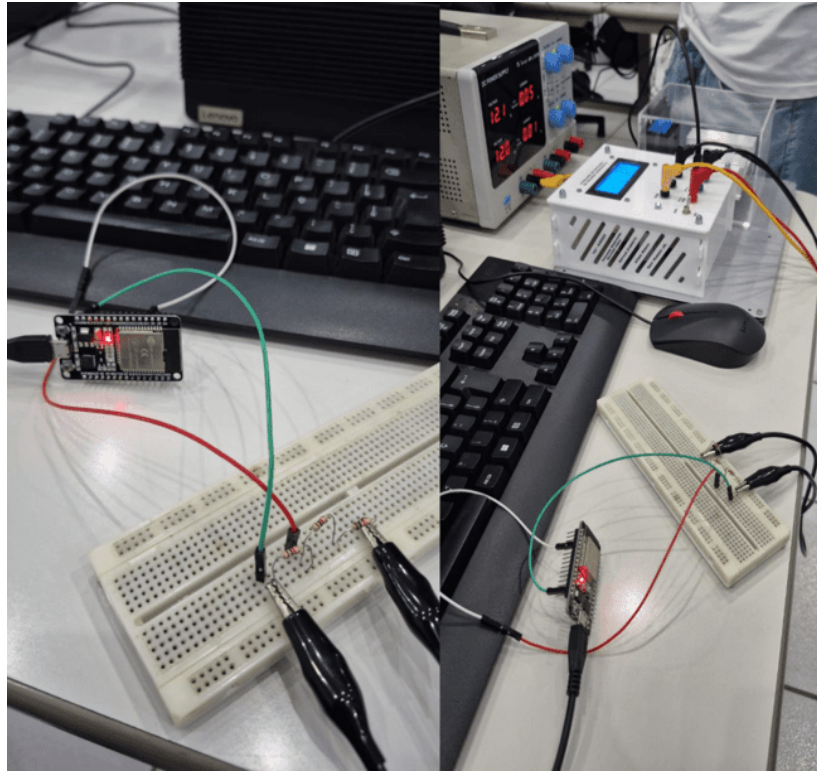
Figura 5: Validação virtual da arquitetura de hardware e rotinas de comunicação IoT no simulador Wokwi.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Após a validação digital, a montagem física foi executada, evidenciando a interligação estrutural entre a camada de controle (baixa tensão) e a camada de potência, conforme demonstrado na figura 6:

Figura 6: Montagem física do protótipo LumiTemp, destacando-se o módulo ESP32 e as interfaces de ligação.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Para atuar sobre o elemento resistivo de aquecimento, o sistema exige uma interface de potência segura. A fim de transcrever o esforço de controle contínuo do PID, $u(t)$, em potência real, o ESP32 converte a saída do algoritmo em um sinal discreto de Modulação por Largura de Pulso (PWM), respeitando a relação matemática $D = \frac{u(t)}{100} \times (2^n - 1)$ onde n é a resolução em *bits* do microcontrolador.

O sinal PWM de 3.3V gerado no pino atua sobre a entrada de um Relé de Estado Sólido (SSR) de 40A. O uso do SSR garante isolamento galvânica e óptica, protegendo a lógica digital do ESP32 contra os transientes da rede de corrente alternada que alimenta a resistência elétrica. A modulação de alta frequência permite ao SSR atuar como um comutador rápido, garantindo um ajuste fino, linear e ininterrupto da potência dissipada por Efeito Joule. Simultaneamente ao aquecimento, um sistema de ventilação (*cooler* 12V DC) é mantido em operação constante no interior da câmara para forçar a convecção do ar, garantindo um perfil térmico homogêneo em todas as seções do estator durante o ciclo de secagem (Melo; Sousa, 2025).

Comunicação IoT e Ecossistema FIWARE

A transição dos dados sensoriais físicos para o ambiente em nuvem é orquestrada por uma arquitetura de microsserviços baseada na plataforma FIWARE. A escolha deste ecossistema justifica-se pela sua aderência aos padrões abertos da Indústria 4.0 e pela adoção do protocolo NGSI-v2 (*Next Generation Service Interfaces*), que uniformiza a representação do contexto das entidades geridas (Cabrini *et al.*, 2024).

O fluxo de telemetria inicia-se no envio das amostras de temperatura e do estado de atuação do relé. Para contornar as restrições de largura de banda e minimizar o consumo de recursos na borda, o transporte dos dados assenta-se no protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). Este protocolo opera sob o paradigma de publicação e subscrição (*publish/subscribe*), estabelecendo uma comunicação assíncrona robusta. O ESP32 (dispositivo cliente) encapsula os dados num *payload* estruturado em formato JSON (*JavaScript Object Notation*) e os publica em tópicos específicos geridos por um servidor *broker* (Mosquitto). Esse servidor atua como um mediador central, isolando a camada de *hardware* da camada de aplicação e garantindo a entrega eficiente das mensagens.

A integração entre o tráfego MQTT bruto e o padrão FIWARE é realizada pelo componente IoT Agent JSON. Este serviço atua como um *gateway* de tradução bidirecional, convertendo as mensagens JSON recebidas dos tópicos MQTT em requisições RESTful no formato padronizado NGSI-v2. Esta tradução semântica é o que permite mapear o dispositivo físico (a estufa) numa "Entidade Virtual" coerente dentro da nuvem.

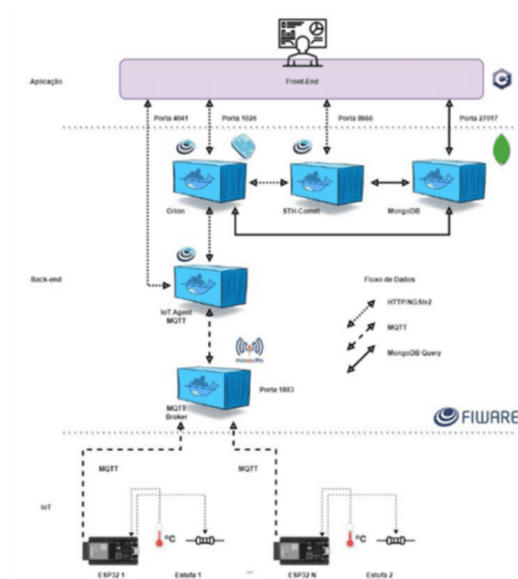
O núcleo desta arquitetura telemétrica é o Orion Context Broker, o módulo responsável por manter o estado atual (em tempo real) de todos os parâmetros da planta. Quando a aplicação necessita de avaliar a temperatura no instante presente, utiliza os dados diretamente através das APIs do Orion.

No entanto, a validação de processos de secagem térmica exige rigor na análise da curva de aquecimento ao longo do tempo. Como o Orion gere apenas o estado presente, a arquitetura incorpora o microsserviço STH-Comet (*Short Time Historic*). O STH-Comet subscreve as alterações de estado publicadas no Orion e mantém o histórico completo das leituras numa base de dados orientada a documentos (MongoDB). Esta persistência de séries temporais (*time-series*) é vital para

a operação, pois fornece a base de dados histórica necessária para renderizar os gráficos de secagem, permitindo a auditoria e a rastreabilidade do processo exigidas na manutenção de motores elétricos.

A integração estrutural de todas as tecnologias que compõem este sistema de mensageria e o fluxo dos dados podem ser observados no diagrama de arquitetura da figura 7:

Figura 7: Diagrama da arquitetura de software e fluxo de comunicação IoT do sistema LumiTemp.



Fonte: PBL FESA (2024).

Sistema supervisorio, banco de dados relacional e arquitetura MVC

Para o consumo dos dados telemétricos e a operação remota da estufa, desenvolveu-se uma aplicação *backend* em linguagem C# (*framework* .NET Core 3.1) estruturada estritamente sob o padrão de arquitetura Modelo-Visão-Controlador (MVC). Esta abordagem garante a separação de responsabilidades (alta coesão e baixo acoplamento), segmentando a lógica de negócios, a interface gráfica e a persistência de dados.

A camada de "Modelo" (*Model*) é suportada por um Banco de Dados Relacional projetado para garantir a integridade das informações operacionais e gerenciais da planta. O diagrama de Entidade-Relacionamento (ER) foi normalizado e estruturado em tabelas essenciais para o rastreamento logístico e técnico, destacando-se:

- **cadr_sens** (cadastro de sensores): armazena os metadados dos dispositivos de borda e microcontroladores, permitindo o gerenciamento dos ativos de *hardware* vinculados à estufa;
- **cadr_empr_parc** (empresas parceiras): gerencia os dados dos clientes proprietários dos motores elétricos, assegurando a rastreabilidade do lote em processo de secagem;
- **cadr_func** (quadro de funcionários): controla o credenciamento e os níveis de acesso dos operadores do sistema.

Figura 8: Diagrama Entidade Relacionamento (DER) das tabelas.



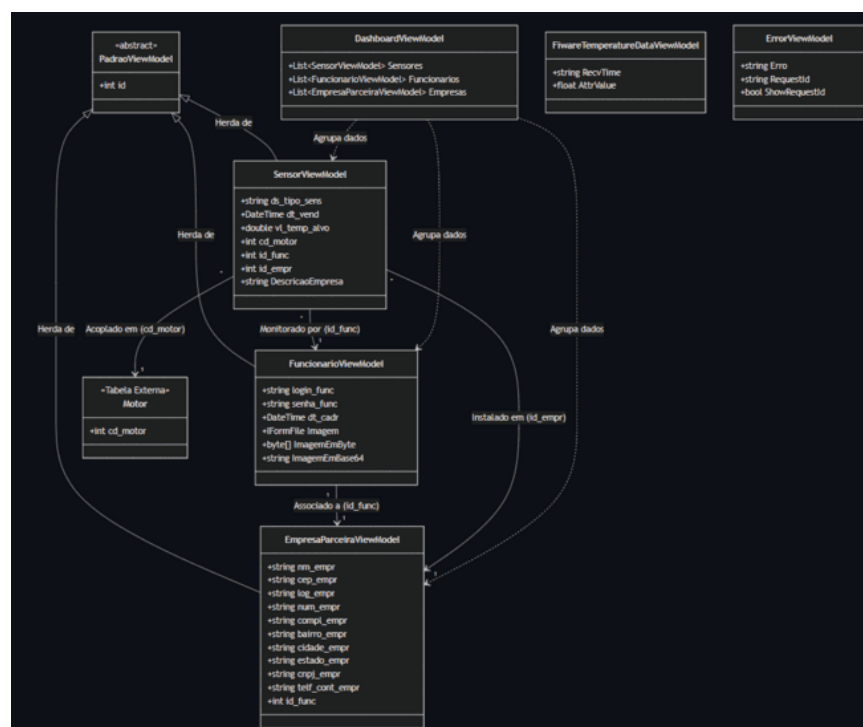
Fonte: elaboração dos autores (2026)

Para assegurar a integridade referencial, a segurança contra-ataques de injeção SQL (*SQL Injection*) e a otimização de desempenho, a manipulação das tabelas não é realizada por *queries* brutas (*inline SQL*). Toda a interação de inserção, atualização e deleção (CRUD) foi encapsulada no banco de dados através de *Stored Procedures* (procedimentos armazenados).

No *backend* em C#, a comunicação com o banco de dados é intermediada por classes que implementam o padrão de projeto DAO (*Data Access Object*). Classes como *SensorDAO* e *FuncionarioDAO* instanciam a conexão com o banco e executam as *Stored Procedures*, traduzindo os registros relacionais em objetos para a aplicação (Jesus Júnior, 2026).

A camada do "Controlador" (*Controller*) atua como a espinha dorsal de orquestração do sistema. É responsabilidade dos controladores cruzar os dados estáticos do banco de dados relacional com os dados dinâmicos da rede IoT. O controlador *FiwareDataController*, por exemplo, é encarregado de consumir as APIs RESTful do Orion Context Broker e do STH-Comet. Dessa forma, o controlador funde o contexto do ambiente físico (temperatura em tempo real) com a lógica de negócios (qual motor está na estufa), preparando o pacote final de informações (*ViewModels*), conforme demonstrado nos fluxogramas de relacionamentos e mapeamento das figuras 9 e 10.

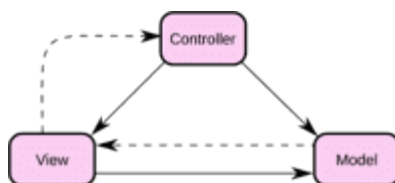
Figura 9: Diagrama de fluxo e mapeamento das *Models* na arquitetura MVC do sistema LumiTemp.



Fonte: elaboração dos autores (2026).

HTTP é processada pelo *Controller*, validada pelas regras de negócio, persistida via *Stored Procedures* no banco de dados e, finalmente, entregue à interface de visualização.

Figura 12: Diagrama de conceito geral do funcionamento da arquitetura MVC.



Fonte: Wikipedia (2020).

Esta síntese arquitetural demonstra que o sistema não apenas monitora, mas integra o ciclo de vida da informação: desde a captura bruta pelo sensor no *hardware* (nível físico), passando pela tradução semântica do FIWARE (nível de contexto), até chegando à persistência organizada e à consulta inteligente no banco de dados relacional (nível de negócio). Tal estruturação confere ao LumiTemp a robustez exigida em ambientes de produção industrial, garantindo que qualquer decisão operacional seja embasada em dados históricos fidedignos e em leituras precisas de temperatura em tempo real.

Fluxo operacional e telas do sistema supervisorio

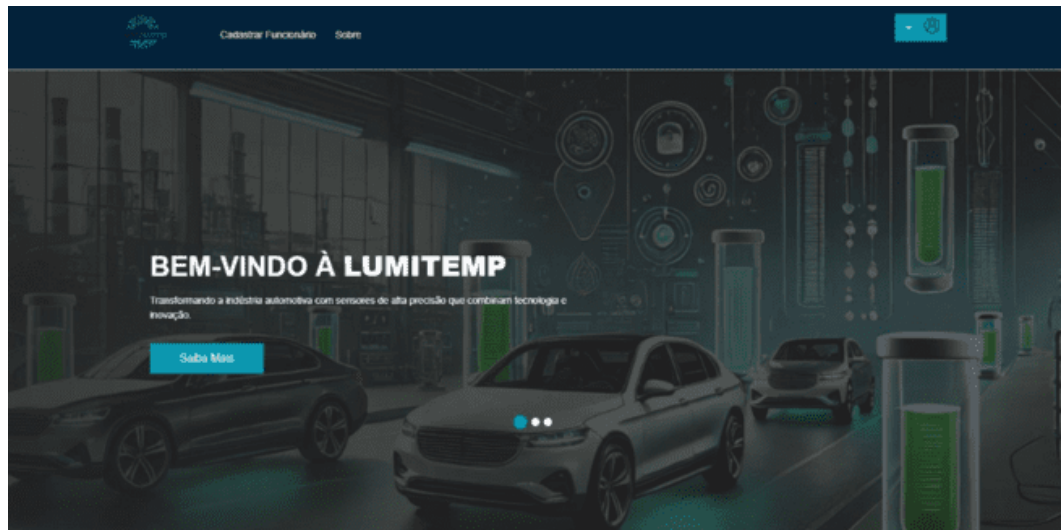
Para que a arquitetura de software MVC interaja de forma coordenada com o banco de dados relacional e a infraestrutura IoT, o sistema LumiTemp foi projetado sob um fluxo operacional rigoroso. A organização desses processos visa garantir a rastreabilidade e a eficiência na gestão de ativos, elementos cruciais em ambientes industriais modernos onde a coleta e o armazenamento de dados precisam ser estruturados para permitir análises históricas precisas (Gilio; Oliveira, 2025).

Autenticação e navegação central

Diferente de sistemas que permitem acesso irrestrito, o LumiTemp adota uma política de segurança desde o início. O fluxo operacional inicia-se na Tela Inicial (HOME), evidenciada na figura 13, que atua como o *hub* de entrada. Para acessar as funcionalidades restritas, o usuário deve, primeiramente, realizar a criação de sua conta, garantindo que o controle de acesso seja estabelecido desde o primeiro contato (Faleiro, 2024). Após o registro, o operador é direcionado à Tela de Login, evidenciada na figura 14, onde a autenticação das credenciais é validada em relação ao banco de dados, protegendo os dados sensíveis da planta contra acessos não autorizados. Após

o login, a navegação segue diretrizes de ergonomia para sistemas supervisórios, que recomendam que IHMs (Interface Homem-Máquina) ofereçam uma navegação intuitiva para reduzir a carga cognitiva do operador durante a supervisão de processos críticos (Freitas; Balthazar, 2025).

Figura 13: Tela inicial (HOME). Hub de navegação central e porta de entrada para criação de conta.



Fonte: elaboração dos autores (2026).

Figura 14: Tela de Login - interface de controle de acesso para autenticação de operadores.

A imagem mostra a tela de login do sistema LUMITEMP. No topo, há uma barra de navegação escura com o logo 'LUMITEMP' à esquerda, os links 'Cadastrar Funcionário' e 'Sobre' no centro, e um ícone de engrenagem à direita. O fundo da tela é uma ilustração de um ambiente industrial futurista com carros autônomos e painéis de controle. O texto principal 'BEM-VINDO À LUMITEMP' está centralizado, seguido pela frase 'Transformando a indústria automobilística com sensores de alta precisão que combinam tecnologia e inovação.' Abaixo disso, há um botão azul com o texto 'Saiba Mais'.

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Parametrização gerencial e rastreabilidade relacional

Com o acesso estabelecido, o operador executa a parametrização dos dados. O ciclo cadastral inicia-se pelo gerenciamento dos Recursos Humanos através do Cadastro de Funcionários, como evidenciado na figura 15 e da Listagem de Funcionários, evidenciado na figura 16. A organização de dados estruturados em bancos relacionais é uma prática recomendada para viabilizar a individualização de responsabilidades em processos de telemetria, garantindo transparência no rateio de tarefas e na manutenção (Gilio; Oliveira, 2025).

Figura 15: Tela de cadastro de funcionarios.

Inclusão de Funcionário

Código de Empresa
2

Login
Digite o login

Senha
Digite a senha

Data de Cadastro
17 jun 2026

Imagem do Funcionário
Escolher arquivo | Nenhum arquivo escolhido

Pré visualização da imagem

Salvar Dados

Voltar para a listagem

[Página Inicial](#)

© Todos os direitos reservados por Lumitomp

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Figura 16: Tela de listagem de funcionários.

Funcionários

Novo Registro

Página Inicial

Excluir Dados

Ação	Número do Usuário	Login do Usuário	Data de Cadastro	Imagem Funcionário
Editar Apagar	1	hobby_tommas	17 jun 2026 00:00:00	

© Todos os direitos reservados por Lumitomp

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Sequencialmente, a Tela de Cadastro de Empresas, apresentada na figura 17 e a respectiva listagem, mostrada na figura 18 estruturam os dados dos clientes. Este nível de organização

de ativos, conforme discutido por Souza (2013), é fundamental para a gerência da manutenção, permitindo associar telemetrias específicas a contratos ou departamentos distintos dentro de uma rede de automação.

Figura 17: Tela de Cadastro de Empresas.

Fonte: elaboração dos autores (2026).

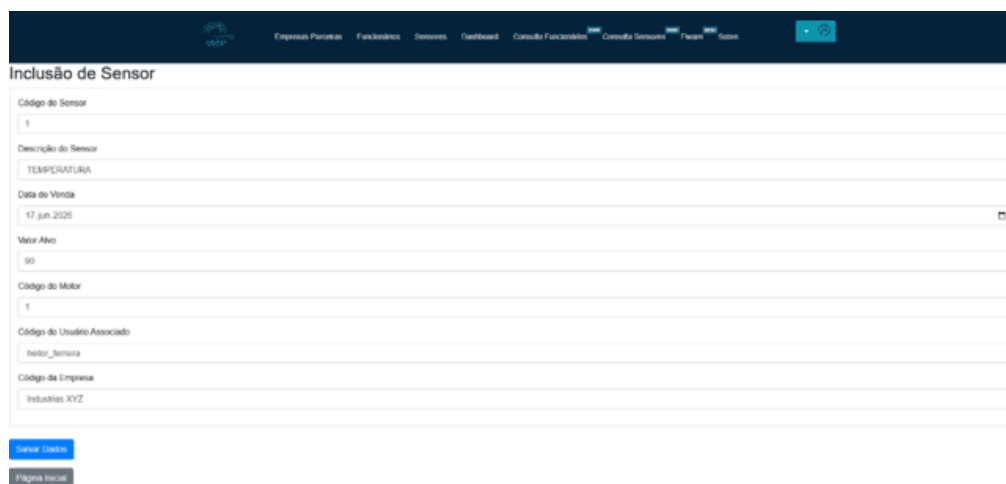
Figura 18: Tela de Listagem de Empresas.

Código da Empresa	Nome da Empresa	CNPJ	Logradouro	Número	Complemento	Bairro	Cidade	Estado	CEP	Telefone
1	Indústria XYZ	089-12345	Rua Figueira	45		Assunção	Castro	Paraná	81234567	11-3333-1234

Fonte: elaboração dos autores (2026).

O elo final entre a infraestrutura de TI e a planta física é realizado no Cadastro de Sensores, evidenciado na figura 19, e sua respectiva listagem, exibida na figura 20. Conforme apontado por Camargo (2025), a interoperabilidade entre controladores industriais e plataformas de monitoramento web depende estritamente de um cadastro de ativos bem definido, que permita ao sistema traduzir valores brutos de sensores (como o DHT22) em informações de processo úteis (Silva; Santos, 2023).

Figura 19: Tela de Cadastro de Sensores.



Inclusão de Sensor

Código do Sensor: 1

Descrição do Sensor: TEMPERATURA

Data de Venda: 17 jun 2026

Valor Atrib: 90

Código do Motor: 1

Código do Usuário Associado: helter_senista

Código da Empresa: Industrias XYZ

Salvar Dados

Página Inicial

Fonte: elaboração doas autores (2026).

Figura 20: Tela de listagem de sensores.



Tela de Sensores

Novo Registro

Página Inicial

Extrair Dados

Ação	Código do Sensor	Descrição do Tipo de Sensor	Data de Venda	Valor de Temperatura Atrib Configurada	Código do Motor Associado ao Sensor	Código do Funcionário Associado ao Motor	Código de Empresa Associada ao Sensor
Editar Excluir	1	TEMPERATURA	17 jun 2026 00:00:00	90	1	1	1

© Todos os direitos reservados por LunaTemp

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Supervisão telemétrica e visões executivas

Encerrando o fluxo arquitetural, projetou-se a camada de apresentação, segmentada em duas frentes analíticas. A primeira frente, de caráter gerencial, é o Dashboard de Visões Executivas (evidenciado na figura 21), que consolida indicadores de desempenho operacionais e de recursos humanos. Esta visão facilita a tomada de decisão gerencial baseada em dados reais, contribuindo para a eficiência global do processo (Alves, 2023).

A segunda frente, analítica, corresponde à supervisão telemétrica em tempo real (Data Viewer). Durante o desenvolvimento desta camada técnica, a arquitetura original baseada no padrão monolítico MVC (Model-View-Controller) em C# apresentou limitações quanto à flexibilidade na

renderização de dados em alta frequência e na integração com bibliotecas de cálculo numérico avançado.

Para contornar essa limitação e permitir o processamento dinâmico das equações de controle (Malha Aberta e PID) diretamente na interface, a arquitetura de visualização foi refatorada para um modelo em Python, utilizando o *framework* Streamlit. Essa abordagem viabilizou o acoplamento nativo com bibliotecas de computação científica, como NumPy e SciPy, fundamentais para manipulações algébricas, e a ferramenta Plotly para renderização gráfica, utilizando de forma otimizada os dados persistidos(apresentados) no banco NoSQL (MongoDB) via arquitetura FIWARE.

Figura 21: Dashboard de Visões Executivas.



Fonte: elaboração dos autores (2026).

Resultados e discussão

Validação da alteração estrutural do fluxo de comunicação

Para validar a viabilidade técnica da solução proposta, o ambiente de telemetria foi configurado em uma infraestrutura containerizada utilizando *Docker*, visando a portabilidade e a independência de fornecedores de nuvem (*cloud-agnostic*). A arquitetura consiste na orquestração de dois serviços principais: o *Orion Context Broker*, que atua como o *broker* de contexto para gerenciar entidades

IoT e processar mensagens em formato JSON, e um banco de dados *MongoDB*, responsável pela persistência histórica dos dados de telemetria.

Esta abordagem de isolamento por containers permite que o sistema LumiTemp seja replicado em diferentes ambientes de hardware com configuração mínima, mitigando problemas de dependência de bibliotecas e garantindo a paridade entre o ambiente de desenvolvimento e o ambiente de operação. O uso *Docker* torna-se válido, pois a implementação de serviços de *middleware* em containers facilita a integração entre sensores de campo e a camada de aplicação, estabelecendo uma rede de dados consistente e preparada para a escala industrial (Camargo, 2025).

A validação da conectividade é confirmada através da execução orquestrada via *Docker Compose*, conforme demonstrado na figura 22, que garante que os serviços de integração estejam operacionais e prontos para o tráfego de dados. A utilização de containers é uma estratégia eficaz para sistemas de gerenciamento de dispositivos IoT, pois simplifica a instalação, o escalonamento e a manutenção de serviços complexos (FREITAS; BALTHAZAR, 2025). Esse fluxo garante que a telemetria não seja apenas um dado volátil, mas uma informação comprovada e auditável, essencial para qualquer sistema de gestão de ativos que vise a rastreabilidade integral do processo (Gilio; Oliveira, 2025).

Figura 22: Validação do ambiente de telemetria IoT via Docker, demonstrando a operacionalidade dos serviços Orion e MongoDB.

```

root@HEITOR-GLXBOOKN:/home/heitor/projects/lumitemp/iot-infrastructure# docker-compose up -d
[0000] /home/heitor/projects/lumitemp/iot-infrastructure/docker-compose.yml: the attribute 'version' is obsolete, it will be ignored, please remove it to avoid potential confusion
[+] up 8/15
[+] up 19/19pg: 4.4 [0000 0 0] 6.31MB / 166.2MB Pulling [+] up 18/16
  ✓ Image mongo:4.4 Pulled 22.7s
  ✓ Image fiware/orion:3.10.0 Pulled 19.5s
  ✓ Network iot-infrastructure_default Created 0.1s
  ✓ Container iot-infrastructure-mongo-1 Started 1.9s
  ✓ Container iot-infrastructure-orion-1 Started 1.9s
root@HEITOR-GLXBOOKN:/home/heitor/projects/lumitemp/iot-infrastructure# docker ps
CONTAINER ID        IMAGE               COMMAND                  CREATED              STATUS              PORTS              NAMES
daef762786ff        fiware/orion:3.10.0 "/usr/bin/contextBrew" 20 seconds ago      Up 18 seconds      0.0.0.0:1026->1026/tcp, [::]:1026->1026/tcp    iot-infrastructure-orion-1
869ed5590bc9        mongo:4.4          "docker-entrypoint.s" 20 seconds ago      Up 19 seconds      0.0.0.0:27017->27017/tcp, [::]:27017->27017/tcp  iot-infrastructure-mongo-1

```

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Arquitetura da camada de aplicação e supervisão

Com a camada de aplicação consolidada em Python e Streamlit, conforme delineado na Seção Supervisão telemétrica e visões executivas, o painel de monitoramento técnico foi submetido à operação com dados dinâmicos da estufa. A interface validou com sucesso o fluxo assíncrono do

ecossistema IoT: a telemetria adquirida pelo ESP-32 na borda (*Edge*) foi corretamente roteada pelo *broker* MQTT, contextualizada pelo FIWARE Orion e persistida(mantida) no MongoDB, sendo então aproveitada e plotada pelo *dashboard* em tempo real.

Além da renderização contínua da Variável de Processo (PV) em contraposição à Média Histórica e ao *Setpoint* (SP), a interface demonstrou eficácia em seu subsistema algorítmico de detecção de anomalias. Durante os ensaios, o painel calculou ininterruptamente a média móvel das temperaturas em regime, acionando *flags* visuais de alerta (vermelho) sempre que a derivada temporal do aquecimento indicou valores acima dos limites de segurança preestabelecidos para a secagem do verniz.

A figura 23 ilustra a interface de operação em regime estabilizado, evidenciando a assertividade da telemetria de ponta a ponta, a renderização limpa proporcionada pela biblioteca Plotly e a pronta visualização da resposta temporal da estufa pelos operadores.

Figura 23: Painel de monitoramento de temperatura em Python.



Fonte: elaboração dos autores (2026)

Análise e comparativo do protótipo frente ao mercado

Conforme detalhado e ilustrado na seção Infraestrutura de hardware e aquisição de dados (figuras 5 e 6), a topologia elétrica e a montagem física do protótipo foram consolidadas utilizando o microcontrolador ESP32 e uma interface de potência com isolamento galvânica (SSR). Com a arquitetura de *hardware* e *software* plenamente operacional, a avaliação de resultados desta etapa consiste em dimensionar o impacto tecnológico e a viabilidade comercial do sistema LumiTemp em comparação aos equipamentos tradicionais do setor.

Historicamente, os fornos e estufas industriais de pequeno e médio porte destinados à secagem de motores elétricos operam com lógicas de controle termostáticas puramente mecânicas ou eletromecânicas (*On/Off*). Além disso, possuem painéis de operação locais e carecem de conectividade, o que inviabiliza a rastreabilidade do processo.

Para evidenciar a evolução proposta, a tabela 1 sintetiza o *benchmarking* realizado entre o comportamento operacional do protótipo LumiTemp e as especificações de estufas convencionais.

Tabela 1 – Comparativo tecnológico: LumiTemp Vs. estufas convencionais.

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Critério de análise	Estufas convencionais (padrão de mercado)	Protótipo LumiTemp (proposta IoT)
Lógica de controle	<i>On/Off</i> (acionamento via termostato mecânico)	Algoritmo PID atuando via sinal PWM
Histerese térmica	Alta (oscilações contínuas da temperatura interna)	Baixa (estabilização fina e contínua no <i>Setpoint</i>)
Arquitetura de dados	Isolada (sistemas <i>stand-alone</i> , sem histórico)	Integrada (microserviços, MQTT e banco NoSQL)
Supervisão operacional	Exclusivamente <i>in loco</i> (painéis analógicos/IHM local)	Remota em nuvem (<i>Dashboard</i> web em tempo real)
Custo e escalabilidade	Alto custo de aquisição e arquitetura fechada	Baixo custo (<i>Open-Source</i> e componentes COTS)

A análise comparativa demonstra que a adoção do controle térmico em malha fechada (PID), integrada a uma arquitetura IoT ponta a ponta, resolve as principais deficiências dos sistemas legados. O sistema proposto não apenas elimina o risco de estresse térmico no verniz do estator, garantindo secagem uniforme e preservando as propriedades dielétricas, como também transforma a estufa em um ativo produtivo rastreável, gerando os *logs* e telemetrias exigidos pelos padrões da Indústria 4.0.

Resultados experimentais

Esta seção apresenta a validação experimental do sistema, dividida entre a modelagem da dinâmica térmica da estufa (malha aberta) e o desempenho do algoritmo de controle de temperatura (malha fechada).

Análise em malha aberta: identificação da planta

A análise em malha aberta foi conduzida para o levantamento da curva de reação da estufa, procedimento fundamental para a caracterização da inércia térmica do sistema. O ensaio consistiu na aplicação de um degrau unitário (acionamento de 100% da potência da resistência elétrica) após uma fase de repouso inicial de 10 segundos, monitorando-se a resposta da planta até a estabilização em regime permanente e o posterior resfriamento natural.

O comportamento térmico do sistema inicia-se com a fase de repouso, compreendida entre os instantes de 0 e 10 segundos, período no qual a planta permanece em completo equilíbrio térmico com a temperatura ambiente estabilizada em 25°C.

Em seguida, a fase de aquecimento ocorre no intervalo de 10 a 610 segundos, na qual se observa a resposta dinâmica da planta. Esse comportamento é inicialmente caracterizado por um tempo morto (θ) de aproximadamente 10 segundos, que representa o atraso físico necessário para o calor percorrer a câmara até ser detectado pelo transdutor. Superado esse intervalo, o sistema exibe uma trajetória de crescimento exponencial típica de primeira ordem, com uma constante de tempo (τ) de 120 segundos, até atingir a estabilização térmica em torno de 65°C.

Por fim, a fase de resfriamento é deflagrada logo após os 610 segundos com a desativação da resistência elétrica, dando início ao processo de decaimento térmico passivo. Durante essa etapa, a taxa de perda de calor segue uma curva exponencial negativa, o que confirma tanto a eficiência do isolamento térmico quanto a atuação da convecção natural no interior da câmara. Todo esse comportamento descrito, fica evidenciado na figura 24.

Figura 24: Resposta do sistema em malha aberta evidenciando o atraso do transporte, a constante de tempo da planta e o decaimento termico passivo.



Fonte: elaboração dos autores (2026).

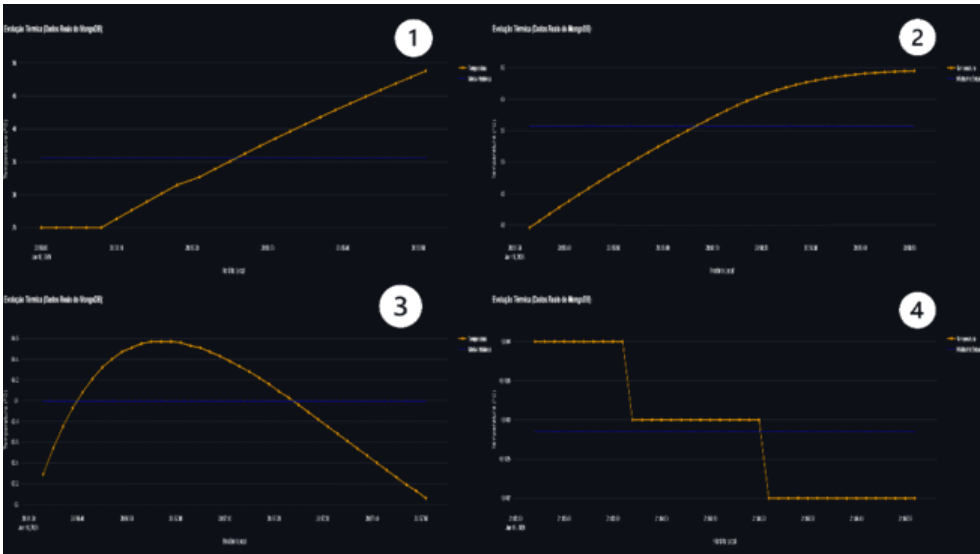
Esta caracterização empírica foi decisiva para a etapa de projeto do controlador PID. A identificação precisa do ganho estático (K) e da inércia térmica (τ) permitiu a calibração dos ganhos do controlador, garantindo que o sistema operasse dentro de limites que preservam a integridade dielétrica do verniz isolante dos motores elétricos durante o processo de cura.

Análise em malha fechada: performance do controle PID

A validação da estratégia de controle foi realizada através da implementação de um algoritmo PID (*Proportional-Integral-Derivative*) sobre o modelo da estufa. O controlador foi ajustado para manter a temperatura interna em um *Setpoint* fixo de 60°C, valor crítico para a polimerização uniforme do verniz isolante em motores elétricos.

A figura 25 ilustra o desempenho do sistema, demonstrando a convergência rápida da variável de processo em direção ao alvo. A ação proporcional (K_P) permitiu uma resposta ágil na fase inicial de aquecimento, enquanto a ação integral (K_I) garantiu a eliminação do erro em regime permanente, e a ação derivativa (K_D) atuou como um amortecedor, prevenindo o *overshoot* e garantindo que a temperatura não ultrapassasse o limite seguro para os componentes internos do motor.

Figura 25: Resposta temporal do sistema sob controle PID, evidenciando a estabilização precisa no setpoint de 60°C.



Fonte: elaboração dos autores (2026).

Para quantificar a eficácia do controle, foram extraídos os indicadores de desempenho temporal e de erro, conforme consolidado nas tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Indicadores de performance temporal.

Parâmetro	Valor
Overshoot (Sobresinal)	7.62%
Tempo de subida (Rise Time)	54.0s
Erro em regime permanente	0.01°C

Fonte: elaboração dos autores (2026).

Tabela 3 – Índices de erro (desempenho algorítmico)

Índice	Valor
IAE (Integral Absolute Error)	2.062,95
ISE (Integral Square Error)	39.337,45
ITAE (Integral Time Absolute Error)	143.001,61
ITSE (Integral Time Square Error)	934.400,37

Fonte: elaboração dos autores (2026).

A análise dos índices de erro (especialmente o ITAE e o ITSE) confirma que o controlador PID foi adequadamente sintonizado, apresentando uma convergência rápida e estável. Esses resultados validam a proposta de automação, demonstrando que a integração entre a arquitetura IoT e o controle PID oferecem uma solução técnica superior aos termostatos convencionais, promovendo maior qualidade no processo de cura e otimização do consumo energético da estufa.

Considerações finais

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento e a implementação do sistema LumiTemp, uma solução integrada para o controle térmico de estufas de secagem de motores elétricos. A evolução arquitetural conduzida ao longo da pesquisa, que migrou de um modelo monolítico para um ecossistema de microsserviços baseado em IoT e processamento analítico em Python, provou ser o diferencial determinante para a eficácia do sistema.

A modelagem matemática da planta, caracterizada como um sistema de Primeira Ordem com Tempo Morto (FOPDT), forneceu o suporte teórico necessário para a sintonia do controlador PID. Os resultados experimentais, validados por métricas de desempenho no domínio do tempo e do erro (como IAE, ISE e ITAE), atestaram a superioridade do controle em malha fechada sobre as soluções de mercado baseadas em termostatos simples. O sistema LumiTemp demonstrou capacidade de estabilização precisa no *Setpoint*, garantindo condições térmicas ideais para a preservação do verniz isolante e prevenindo o estresse térmico dos componentes, além de promover uma gestão energética mais eficiente.

A utilização de protocolos industriais e abertos (MQTT) integrada a uma plataforma de dados não-relacionais (MongoDB) conferiu ao sistema a robustez exigida para a Indústria 4.0, transformando um processo legado em um ativo inteligente, rastreável e supervisionável remotamente.

Em trabalhos futuros, sugere-se a implementação de técnicas de manutenção preditiva baseadas em *Machine Learning*, utilizando o histórico de dados persistido no *Data Lake* para se prever falhas no aquecedor antes que elas comprometam o lote em secagem. Em suma, o LumiTemp cumpriu seus objetivos, apresentando uma solução tecnológica viável, escalável e de alto desempenho para a automação industrial de processos térmicos.

Referências

- AGHENTA, L. O.; IQBAL, M. T. Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thingier.IO and ESP32 Thing. **Electronics**, v. 8, n. 822, 2019.
- ALEXANDRE, Gerônimo Barbosa; FILHO, Múcio d'Emery Alves; SANTANA, Vitoria Borges. Projeto e montagem de um medidor de energia elétrica didático e de baixo custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 47.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DA ABENGE, 2., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: ABENGE, 2019.
- ALVES, M. P. **Desenvolvimento de plataforma web para monitoramento de dados para agricultura de precisão**. 2023. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2023.
- ANTONIO, Claodomir et al. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com Arduino. p. 96, 2016.
- BAJIC, V. et al. Desafios na implementação da Indústria 4.0: uma revisão da literatura. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 21, n. 2, p. 45-62, 2020.
- CABRINI, F. H. et al. Digital twins: controle dos movimentos de um braço robótico utilizando MQTT e NGSI. **FTT Journal of Engineering and Business**, São Bernardo do Campo, p. 41-62, jun. 2024.
- CABRINI, Fábio Henrique et al. Digital twins: controle dos movimentos de um braço robótico utilizando MQTT e NGSI. In: TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO. Faculdade Engenheiro Salvador Arena, São Bernardo do Campo, 2023.
- CAMARGO, G. R. P. **Interoperabilidade entre controladores industriais, sistema de monitoramento web e armazenamento de dados**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2025.
- COSTA, F. M.; CAVALCANTE, M. S. Desenvolvimento de um sistema IoT para monitoramento ambiental em linhas SMT com ESP32. **RCMOS - Revista Científica Multidisciplinar O Saber**, São Paulo, v. 1, ano 7, 2026.
- CRUZ, I. S. et al. **Plataforma Arduino para coleta de dados ambientais**, 2011.
- DORIN PETREUS, M. Controle ambiental em estufas: desafios e soluções. **Revista de Agricultura Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 90-98, 2012.
- ESPRESSIF. **Espressif announces the launch of esp32 cloud on chip and funding by fosun group**. Setembro 2016. Disponível em: [Inserir URL se houver]. Acesso em: 07 ago. 2020.
- FALEIRO, J. A. **Segurança de dados em aplicações de Internet das Coisas**. 2024. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Redes de Computadores) – Universidade Estadual de Goiás, Pires do Rio, 2024.
- FERNANDES, A. B. et al. A eficácia da irrigação inteligente na agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Agricultura de Precisão**, v. 7, n. 1, p. 12-25, 2020.
- FREITAS, Â. G. H.; BALTHAZAR, G. R. Sistema web de gerenciamento de dispositivos IoT. **Lumen et Virtus**, São José dos Pinhais, v. XVI, n. LIII, p. 1-25, 2025.
- GALANTE, A. C.; GARCIA, R. F. **Sistema de aquisição de dados de sensores de baixo custo baseado no Arduino**, 2011.
- GILIO, P. H. S.; OLIVEIRA, L. M. **Banco de dados para telemetria de água em condomínios: eficiência, economia e detecção de vazamentos**. 2025. Fatec Bauru, Bauru, 2025.
- GUIMARÃES JUNIOR, C. S. S. A importância da IoT na automação de processos. **Revista de Tecnologia e Inovação**, v. 15, n. 4, p. 122-135, 2019.
- HASSAN, M. et al. IoT e Agricultura de Precisão: um novo paradigma. **Revista de Tecnologia Agrícola**, v. 12, n. 2, p. 76-85, 2021.

JESUS JÚNIOR, I. A. de. **Inserção automatizada de sensores por meio de simulação em uma Arquitetura Model-View-Controller (MVC)**. 2026. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2026.

LIU, Y. et al. Big data e IoT: o futuro da manufatura inteligente. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 50, p. 123-135, 2022.

MARQUES, T. A. et al. Sensores IoT na gestão de recursos em estufas: um estudo de caso. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 11-30, 2021.

MCROBERTS, M. **Beginning Arduino**. Apress, 2018.

MELO, G. M. D.; SOUSA, H. I. de. **Desenvolvimento de bancada didática para sistemas de automação e controle em processos térmicos**. 2025. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras, 2025.

MELO, Marcelo Marques. **Modelagem de uma estufa térmica e sintonia do controlador PID**. 2007. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

NASCIMENTO, Y. M. M. do. **Análise da redução dos custos de manutenção de motores elétricos a partir do uso de técnicas preditivas fundamentadas na manutenção centrada na confiabilidade**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2024.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

NÓBREGA, C. B.; OLIVEIRA, F. R.; SILVA, A. C. Aplicações de microcontroladores em sistemas de monitoramento industrial. **Revista de Automação e Controle**, 2020.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 30 set. 2024.

OLIVEIRA, A. R. M. D. **O uso do Arduino em uma mini estação meteorológica: comparação com a estação automática de Caraúbas-RN**, 2001.

PORTELLA, G. **Projeto de impregnadora a vácuo para manutenção de estatores em motores elétricos**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2024.

PRATES, Mauro de Oliveira. **Modelagem matemática de um sistema de secagem de um secador de plantas medicinais e aromáticas**. 2016. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ROCHA, Lucas Bez. **Sistema de monitoramento, controle e automação de parâmetros ambientais em estufas agrícolas utilizando conceitos de IoT**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

SANTOS, R. M. A. dos. **Análise experimental e modelagem matemática da transferência de calor em forno de cocção doméstico a gás**. 2022. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SATURI, Geise Gulart. **Monitoramento, controle e aquisição de dados de uma estufa utilizando ESP32, MySQL e Grafana**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022.

SHENG, Q. et al. Segurança na IoT: desafios e soluções. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 4, p. 2883-2894, 2022.

SILVA, E. B. da; SCHNEIDER, J. C.; LAVRADO FILHO, C. Sistema PID em motor sem escovas com Arduino e IoT. **Iguazu Science**, v. 3, n. 7, p. 126-135, jun. 2025.

SILVA, J. C.; SANTOS, R. M. Sensores digitais de temperatura e umidade: uma revisão sobre o sensor DHT22. **Revista de Tecnologia em Sistemas Embarcados**, v. 15, n. 3, p. 45-60, 2023.

SILVA, N. et al. FreeRTOS Application in a Real-Time Air Quality Monitoring Architecture for Smart Campus. **IEEE Latin America Transactions**, v. 23, n. 4, p. 266-273, abr. 2025.

SILVA NETO, Antônio Monteiro da; SANTOS, Nathan Adrian dos. **Sistemas de controle e supervisão de dados em uma estufa didática**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.

SOUZA, R. F. et al. A importância da análise de dados na agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Agricultura Inteligente**, v. 8, n. 2, p. 30-45, 2022.

SOUZA, V. C. **Organização e gerência da manutenção**. 5. ed. São Paulo: All Print, 2013.

THIRUPATHI, V.; SAGAR, K. Implementation of Home Automation System using MQTT Protocol and ESP32. **International Journal of Engineering and Advanced Technology**, v. 8, n. 2C2, p. 111-113, 1 dez. 2018.

Aplicação da Transformada Rápida de Fourier na medição de tensão de circuitos de via ferroviários

Application of the Fast Fourier Transform to voltage measure in railway circuits

Engenharia de Controle e Automação

Júlio Rodrigo Ribeiro dos Santos (juliorrsantos@gmail.com)

Especialista em Sistemas Embarcados pelo Centro Universitário SENAI – SP.

Leandro Poloni Dantas (leandro.poloni@gmail.com)

Doutor em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário FEI e professor do Insper

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026

• ISSN 2525-8729

Submissão: 21 abr. 2025 Aceitação: 22 maio 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 157 – p. 175

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



FACULDADE
ENGENHEIRO
SALVADOR ARENA

Resumo

Os circuitos de via desempenham um papel fundamental nos sistemas metroferroviários, sendo responsáveis pela detecção e sinalização da presença de trens em determinada linha. A manutenção desses circuitos, especialmente os mistos, que combinam diferentes frequências, apresenta desafios significativos, como a necessidade de desenergizar os circuitos de áudio frequência (AFO) durante as medições, impactando negativamente a operação ferroviária. Este trabalho apresenta uma solução baseada em um sistema embarcado, utilizando um microcontrolador equipado com núcleo ARM Cortex®-M4 e técnicas de processamento digital de sinais (DSP) para realizar medições de tensão com precisão em circuitos de 60 Hz sem a necessidade de desligar os AFOs. A metodologia emprega a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para garantir maior precisão na identificação da tensão RMS em 60 Hz, minimizando interferências provenientes de outras frequências. Os resultados demonstraram que a solução proposta resultou em medições confiáveis, facilitando manutenções preventivas e corretivas, contribuindo para uma maior eficiência operacional e menor impacto nas atividades metroferroviárias. Este estudo reforça a viabilidade do uso de sistemas embarcados para otimização da manutenção ferroviária, o que traz benefícios econômicos, operacionais e de segurança para o setor.

Palavras-chave: Circuitos de via ferroviários. Sistema embarcado. Processamento digital de sinais. Transformada Rápida de Fourier.

Abstract

Track circuits play a crucial role in metro-rail systems, being responsible for detecting and signaling the presence of trains. Maintaining these circuits, particularly mixed ones that combine different frequencies, poses significant challenges, such as the need to de-energize audio frequency circuits (AFO) during measurements, which negatively impacts railway operations. This study introduces a solution based on an embedded system that employs a microcontroller equipped with an ARM Cortex®-M4 core and digital signal processing (DSP) techniques to accurately measure voltage in 60 Hz circuits without requiring the AFOs to be deactivated. The methodology utilizes the Fast Fourier Transform (FFT) to ensure higher precision in identifying the RMS voltage at 60 Hz while minimizing interference from other frequencies. The results demonstrated that the proposed solution delivers reliable measurements, facilitating preventive and corrective maintenance, thereby contributing to improved operational efficiency and reduced impact on metro-railway activities. This study underscores the feasibility of using embedded systems to optimize railway maintenance, bringing economic, operational, and safety benefits to the sector.

Keywords: Neural Network. Data Analysis. Computer Vision. People Flow

Introdução

A evolução das ferrovias foi acompanhada do aumento do número de acidentes envolvendo trens. Isso tornou necessário o controle do tráfego para garantir uma circulação segura, originando a sinalização ferroviária. Esse controle evoluiu com os avanços tecnológicos, desde gesticulações manuais até a implantação dos primeiros sinais ópticos por volta de 1930 (Palumbo, 2013).

Os sistemas de sinalização têm como função garantir a movimentação segura dos trens dentro da malha ferroviária. Para isso, travam elementos móveis da via em posição apropriada, evitam movimentações conflitantes, verificam se a via está livre e regulam a circulação dos trens para manter uma distância segura entre eles (Pachl, 2024).

É essencial detectar a posição dos trens em tempo real. Uma das maneiras de se obter essa informação é através dos circuitos de via (CDV). Os CDVs estudados neste artigo aplicam tensão AC em 60 Hz nos trilhos para acionar relés do tipo Vane, que sinalizam a presença do trem. Isso garante que as seções da via estejam livres antes da passagem de um trem (Pachl, 2024).

Com o aumento da demanda por transporte metroferroviário, torna-se necessário reduzir os intervalos e o tempo de viagem, ampliando a quantidade de trens em circulação simultânea. O dimensionamento do sistema de sinalização deve considerar, entre outros fatores, o número máximo de trens previstos, impactando diretamente na necessidade de mais CDVs para detecção e controle. Entretanto, modificar esse sistema requer alterações complexas no intertravamento elétrico (Ogunsola et al., 2007), sendo viável apenas onde for seguro e tecnicamente possível.

Na Linha 12 da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos), a subdivisão dos circuitos de via por meio de circuitos de áudio frequência (AFO - *Audio Frequency Overlay*) foi adotada para aumentar a capacidade do sistema sem gerar grandes intervenções. Os AFOs inserem um segundo sinal no sistema, somando-se à frequência que aciona o relé Vane, possibilitando a subdivisão dos CDVs sem a necessidade de instalar novas juntas isolantes ou *bonds* de impedância, reduzindo a complexidade das modificações (Havaei; Sandidzadeh, 2022).

Entretanto, essa combinação de relés Vane e AFOs apresenta desafios, principalmente para a manutenção. Para realizar medições de tensão nos circuitos com relé Vane, é necessário desligar os

AFOs para evitar interferências causadas pelos sinais injetados. Como esses equipamentos estão geralmente a grandes distâncias, o processo se torna mais demorado e ineficiente.

Uma alternativa para resolver esse problema seria o uso de filtros passa-baixas, projetados para isolar a frequência de interesse. No entanto, quando as frequências estão muito próximas, esses filtros apresentam limitações e podem reduzir a exatidão da medição. Nesse cenário, a Transformada Rápida de Fourier (FFT) se apresenta como uma alternativa promissora, permitindo a análise simultânea de todas as frequências presentes no sinal e separando com maior exatidão a componente de 60 Hz, sem a necessidade de desligar os AFOs.

Nesse contexto, o uso de sistemas embarcados em aplicações de manutenção e diagnóstico de equipamentos ferroviários tem se tornado frequente (Dórdolo et al., 2020).

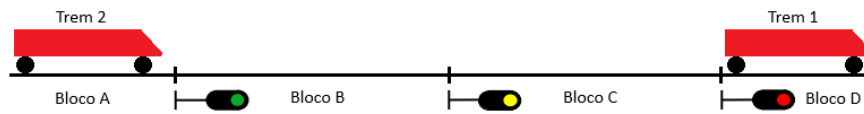
Este trabalho tem como objetivo testar a eficácia da aplicação da FFT em conjunto com um sistema embarcado dedicado à medição de tensões em 60 Hz, imunes à presença de frequências variadas geradas por equipamentos AFO em circuitos de via ferroviários. A solução proposta visa permitir medições precisas sem desligamento dos AFOs, otimizando as manutenções corretivas e preventivas desses sistemas.

Revisão de Literatura

Sinalização ferroviária

A sinalização ferroviária evoluiu dos sinais manuais aos sistemas ópticos (Palumbo, 2013), impulsionada pela necessidade de manter trens a distâncias seguras devido ao baixo coeficiente de atrito entre rodas e trilhos, que resulta em longas distâncias de frenagem (Pachl, 2024). Para controlar automaticamente a movimentação dos trens, a via é segmentada em blocos fixos protegidos por sinais visuais (aspectos) que indicam as condições da via à frente (livre, velocidade reduzida, parada). A Figura 1 ilustra essa lógica de blocos de sinalização, onde cada bloco pode ser monitorado por um Circuito De Via (CDV). O controle da velocidade do trem é realizado com base nos aspectos dos sinais e no sistema de intertravamento, que garante a segurança operacional ao impedir o avanço para blocos ocupados. Esse sistema pode ser microprocessado ou baseado em relés, sendo o último o foco principal deste estudo.

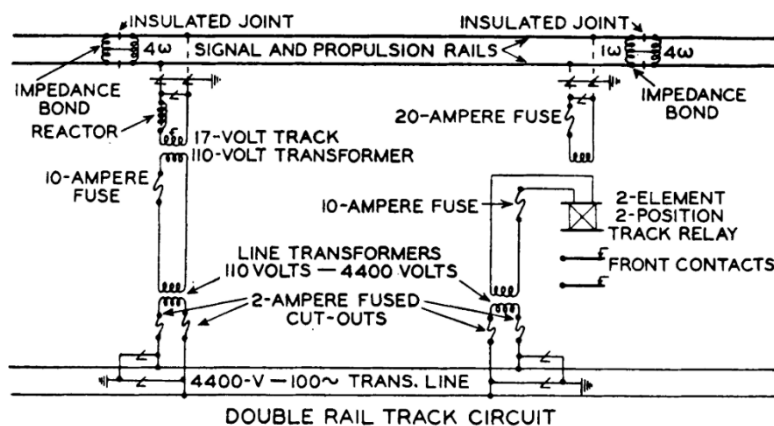
Figura 1 - Blocos de sinalização.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

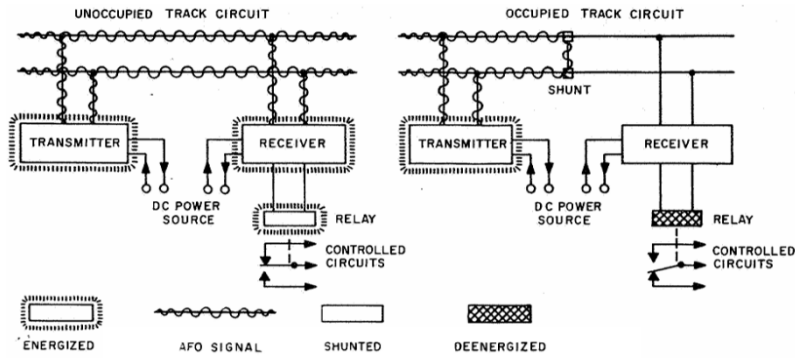
O principal elemento do intertravamento é o circuito de via, responsável por detectar a presença de trens em um bloco. Os circuitos de via convencionais (figura 2) utilizam juntas isolantes (*bonds* de impedâncias) para delimitar o trecho e operam injetando corrente elétrica alternada nos trilhos, energizando um relé na outra extremidade. A presença de um trem causa um curto-circuito, desenergizando o relé e indicando a ocupação do bloco (Reich, 1933). Essa topologia, utilizada desde a década de 1930, continua sendo essencial para a operação ferroviária moderna, com adaptações pontuais observadas em sistemas como os da Linha 12 Safira (CPTM, 2013). Já os circuitos de via de áudio frequência (*Audio Frequency Overlay - AFO*) (figura 3) operam em frequências audíveis e dispensam juntas isolantes, detectando o trem pela interrupção do sinal de frequência transmitido.

Figura 2 - Diagrama geral de um circuito de via de corrente alternada, típico em ferrovias com corrente contínua na tração dos trens.



Fonte: Reich (1933).

Figura 3 - Diagrama geral de um circuito de via de áudio frequência AFO-II.



Fonte: Westinghouse (1976).

Ambos os sistemas (relés e AFO) dependem do contato elétrico entre rodeiros e trilhos para a detecção, o que pode ser comprometido por oxidação ou no caso de veículos leves (Pachl, 2024). Nos sistemas AFO, a escolha cuidadosa das frequências é crucial para evitar interferências entre circuitos adjacentes.

Transformada de Fourier e suas implementações discretas: conceito de acessibilidade e inclusão

A Transformada de Fourier é uma técnica matemática fundamental que permite a análise de sinais contínuos no domínio da frequência. Ela transforma um sinal no domínio do tempo $f(t)$ em um espectro $F(\omega)$, que representa a distribuição de frequências que compõem o sinal (Oppenheim; Willsky, 2010), e é representada pela equação (1):

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

onde $F(\omega)$ = espectro do sinal no domínio da frequência, $f(t)$ = sinal no domínio do tempo, e ω = frequência angular em rad/s e $j: \sqrt{-1}$.

Para sequências de duração finita, utiliza-se a Transformada Discreta de Fourier (DFT), descrita como uma sequência de amostras em vez de uma função contínua. A DFT é fundamental para o processamento digital de sinais (Oppenheim; Schafer, 1999) e sua análise é definida pela Equação (2):

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)kn} \quad (2)$$

onde $X[k]$ = componente no espectro da frequência no índice k , $x[n]$ = valor do sinal no domínio do tempo no índice n e N = número total de amostras do sinal no domínio do tempo

A Transformada Rápida de Fourier (FFT), um algoritmo eficiente publicado por Cooley e Tukey em 1965, revolucionou o cálculo da DFT ao reduzir significativamente seu custo computacional (Oppenheim; Schafer, 1999). Enquanto a DFT requer $O(N^2)$ operações, a FFT necessita de apenas $O(N \log N)$ operações (Souza et al., 2023), tornando-a amplamente utilizada na detecção de harmônicos e outras aplicações de processamento de sinais (Liu et al., 2011). Os algoritmos de FFT baseiam-se na decomposição recursiva da DFT em partes menores. Uma forma de implementação é dada pela Equação (3):

$$X[k] = \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r] W_{\frac{N}{2}}^{rk} + W_N^k \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r+1] W_{\frac{N}{2}}^{rk} \rightarrow X[k] = G[k] + W_N^k H[k] \quad (3)$$

$$\text{para } k = \{0, 1, \dots, N-1\}$$

$$\text{onde: } G[k] = \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r] W_{\frac{N}{2}}^{rk} : \text{relacionada às amostras pares e}$$

$$H[k] = \sum_{r=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x[2r+1] W_{\frac{N}{2}}^{rk} : \text{relacionada às amostras ímpares}$$

Levando em conta o fato de que $G[k]$ e $H[k]$ são periódicas em k , com período igual a $N/2$, ambas as equações são calculadas apenas para valores de k entre 0 e $N/2 - 1$. Após o cálculo de $G[k]$ e $H[k]$, seus resultados são somados (Oppenheim; Schafer, 1999).

Metodologia

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso da FFT na medição de tensão em circuitos de via ferroviários com sinais mistos. Para isso, foi desenvolvido um instrumento de medição com sistema embarcado para aquisição e processamento desses sinais.

O protótipo apresentado na figura 4 é capaz de medir a tensão em circuitos que combinam a frequência fundamental de 60 Hz com a harmônica gerada pelo circuito de via com AFO, permitindo a análise do sinal sem a necessidade de desligar os AFOs.

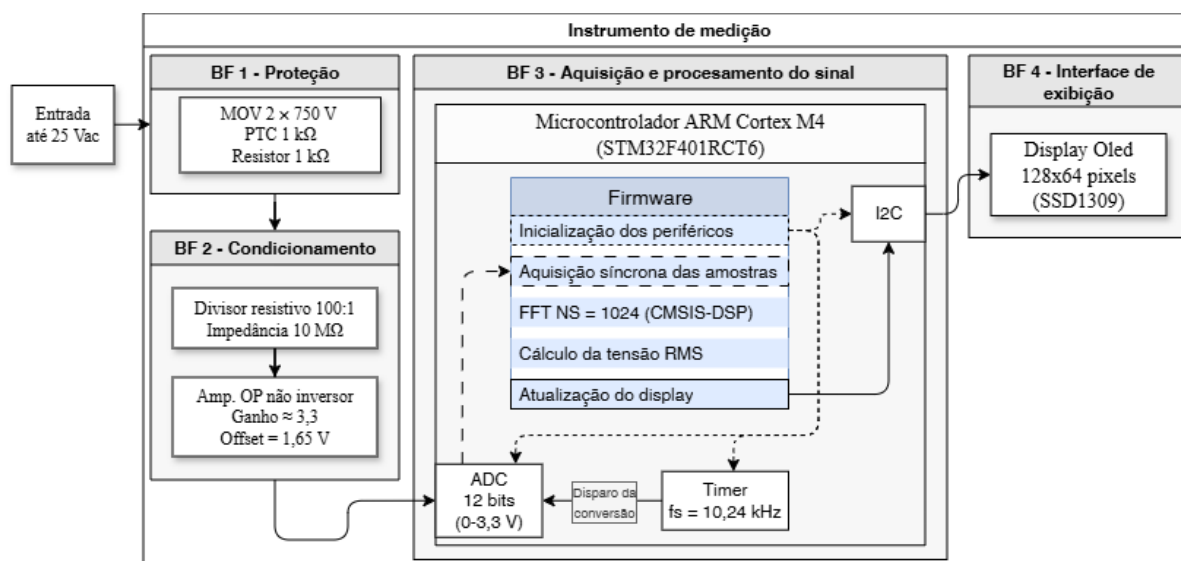
O sinal amostrado é processado por meio da FFT, e a tensão RMS em 60 Hz é exibida, facilitando a regulação correta da tensão que alimenta a bobina de controle do relé Vane.

Figura 4 - Placa eletrônica desenvolvida à esquerda e montagem final à direita.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Figura 5 – Diagrama com os Blocos Funcionais (BF) da arquitetura do instrumento de medição.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

A figura 5 apresenta os Blocos Funcionais (BF) com o fluxo de funcionamento do instrumento de medição, onde cada bloco é descrito a seguir:

- BF 1.Circuito de proteção: tem como objetivo limitar e absorver picos de tensão que tenham potencial de danificar o microcontrolador e atenuar a tensão de entrada para níveis seguros aos componentes seguintes;
- BF 2.Condicionamento do sinal: responsável por adequar a tensão de entrada para níveis seguros para o microcontrolador;
- BF 3.Aquisição do sinal e processamento através da FFT: parcela de software embarcado no microcontrolador, responsável pela aquisição do sinal com periodicidade precisa e processamento para o cálculo da tensão desejada;
- BF 4.Interface de exibição: composta por três telas ilustradas pela figura 6, à esquerda temos o valor medido em 60 Hz; ao centro, é exibida a forma de onda sob teste, e à direita é exibido o espectro de frequências. Neste exemplo, é possível observar a medição de um sinal de 4,75 Vrms em 60 Hz, somado a outro de 4,0 Vrms em 790 Hz.

Figura 6 - Telas da interface.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Aplicação da FFT em software embarcado

Os cálculos da FFT foram realizados utilizando as funções das bibliotecas que integram o pacote ARM CMSIS 5.6.0, disponível ao configurar o microcontrolador utilizando o software STM32 CubeMX.

Para garantir exatidão nos cálculos, o sinal amostrado deve conter ao menos um período completo da frequência desejada. Assim, definiu-se uma janela de 0,1 s para amostragem, suficiente para medir com exatidão o sinal de 60 Hz e obter um espectro com resolução de 10 Hz.

De acordo com o teorema de Nyquist, a frequência mínima de amostragem deve ser o dobro da maior frequência presente no sinal (4000 Hz); portanto, adotou-se 8000 Hz como taxa mínima de amostragem.

O número mínimo de amostras pode ser calculado pela equação (4):

$$NS = FS * T \quad (4)$$

onde: **NS** = número de amostras; **FS** = frequência de amostragem e **T** = período de amostragem.

Assim, o número de amostras calculado será (5):

$$NS = 8000 * 0,1 = 800 \quad (5)$$

Para o cálculo correto, a FFT necessita que o número de amostras seja uma potência de 2; portanto, foi adotado o número de amostras imediatamente superior a 800 e múltiplo de 2^n (6):

$$NS = 2^{10} = 1024 \quad (6)$$

Dessa forma, a frequência de amostragem foi recalculada de modo que o período de amostragem se mantenha fixo (7):

$$FS = \frac{NS}{T} = \frac{1024}{0,1} = 10240 \text{ Hz} \quad (7)$$

Após definir o número de amostras e a frequência de amostragem, um dos temporizadores do microcontrolador foi configurado para operar nessa frequência, disparando uma conversão AD (analógico-digital) a cada ciclo na entrada correspondente. Cada valor convertido é armazenado sequencialmente em um vetor que, ao atingir 1024 posições preenchidas, pausa as conversões para a execução da FFT. Em seguida, os valores são convertidos em tensão, considerando os ganhos e variações dos circuitos externos ao microcontrolador. Essa conversão é feita aplicando-se a equação (8) para cada valor amostrado:

$$V_{entrada} = (N_{adc} * \frac{V_{ref}}{2^{n-1}} - DC_{offset}) * Fe \quad (8)$$

onde: $V_{entrada}$ = tensão analógica de entrada, N_{adc} = saída do conversor analógico digital (0 a 4095), V_{ref} = tensão de referência do conversor (3,3 V), n = resolução do conversor em bits (12 bits), DC_{offset} = tensão presente na entrada do conversor quando a tensão de entrada é igual a 0 V e Fe = fator de escala (valor para calibração das diferenças entre o valor real de tensão na entrada e o valor calculado).

Após o ajuste das tensões de amostragem, é então aplicada a FFT sobre o vetor, utilizando a função *arm_cfft_f32* presente no conjunto de bibliotecas. O resultado é a conversão de um vetor contendo os valores no domínio do tempo em valores no domínio da frequência. Porém, estes valores são representados por números complexos, contendo a parte real e imaginária para cada ponto. Então, a função *arm_cmplx_mag_f32* é aplicada, resultando em um vetor contendo os valores de magnitude de tensão para cada frequência.

Para ajustar a escala das magnitudes no domínio da frequência para que coincidam com as magnitudes no domínio do tempo, é necessário aplicar a seguinte conversão: equações (9) e (10):

$$\text{Para } \left(0 < x < \frac{N}{2}\right): \quad Mag'[x] = \frac{Mag[x]}{\frac{N}{2}} \quad (9)$$

$$\text{Para } \left(x = 0 \text{ ou } x = \frac{N}{2}\right): \quad Mag'[x] = \frac{Mag[x]}{N} \quad (10)$$

Onde:

x = índice do valor calculado.

$Mag[x]$ = magnitude calculada para o domínio da frequência.

$Mag'[x]$ = magnitude calculada equivalente para o domínio do tempo.

N = número de amostras coletadas no domínio do tempo.

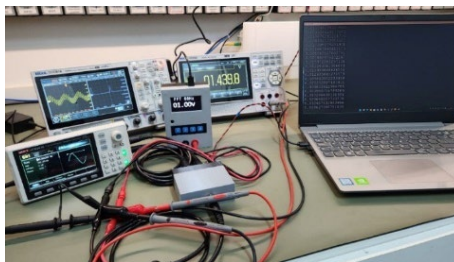
Como resultado, o valor contido em cada índice do vetor final corresponde à magnitude do sinal no domínio do tempo em intervalos de 10 Hz. Para se calcular o valor da tensão RMS associada a cada frequência presente no sinal, o valor armazenado no índice correspondente é dividido por $\sqrt{2}$. Esta abordagem foi adotada para exibir o valor da tensão RMS em 60 Hz na tela inicial da interface, conforme ilustrado na Figura 6.

Resultados e discussões

Verificação da amostragem de sinal e cálculos da FFT

A primeira etapa da validação dos circuitos e códigos desenvolvidos foi realizada através de testes em bancada. Nesses testes, dois canais de um gerador de funções foram conectados a um circuito somador, produzindo, em sua saída, sinais semelhantes aos presentes em circuitos de via ferroviários de 60 Hz com equipamentos AFO instalados.

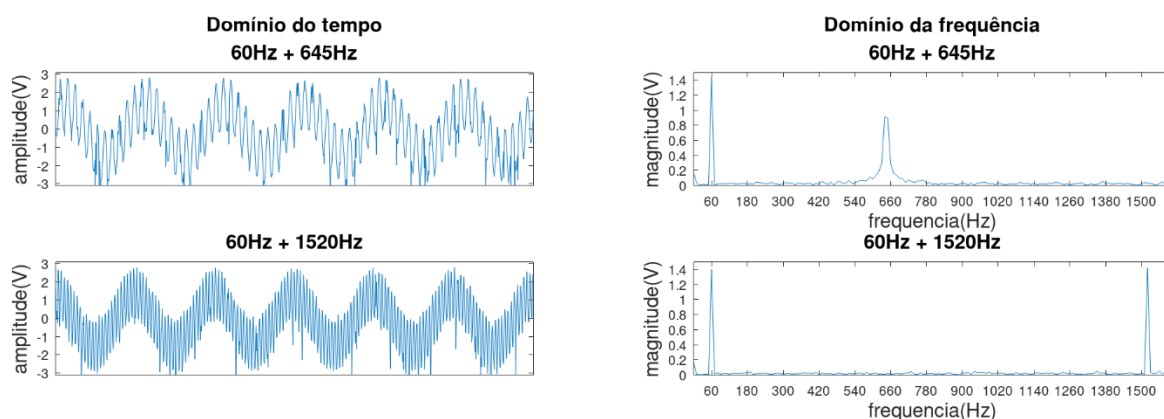
Figura 7 - Montagem em bancada com instrumentos auxiliares para validação das medições.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Conforme ilustrado na figura 7, foi gerado um sinal de 1 Vrms a 60 Hz, somado às frequências de AFO mais comuns encontradas na Linha 12 da CPTM. O segundo sinal também foi gerado com amplitude de 1 Vrms. Para cada frequência testada, os dados medidos pelo instrumento desenvolvido foram exportados via porta USB e inseridos no software Octave. Posteriormente, os gráficos da forma de onda capturada e da FFT calculada pelo instrumento (figura 8) foram gerados e analisados.

Figura 8 - Gráficos de alguns dos sinais nos domínios do tempo e frequência capturados pelo instrumento desenvolvido.



Fonte: elaborado pelos autores (2025)

A partir dos gráficos da figura 8, é possível observar que os cálculos da FFT foram realizados corretamente, permitindo distinguir claramente os picos nas frequências que compõem o sinal no domínio do tempo. Para as frequências múltiplas de 10 Hz, como 1520 Hz, a magnitude do sinal foi calculada corretamente, apresentando o pico de 1,41 V ($1 \text{ Vrms} \times \sqrt{2}$), conforme esperado. Para frequências não múltiplas de 10 Hz, observa-se o fenômeno de dispersão espectral, causado pela descontinuidade do sinal na janela de amostragem, gerando componentes espectrais adicionais na FFT, comportamento também relatado por Tian e Zhang (2025). Contudo, tal fenômeno não representa um problema para esta aplicação, uma vez que o objetivo principal de obter medições precisas na frequência de 60 Hz foi alcançado.

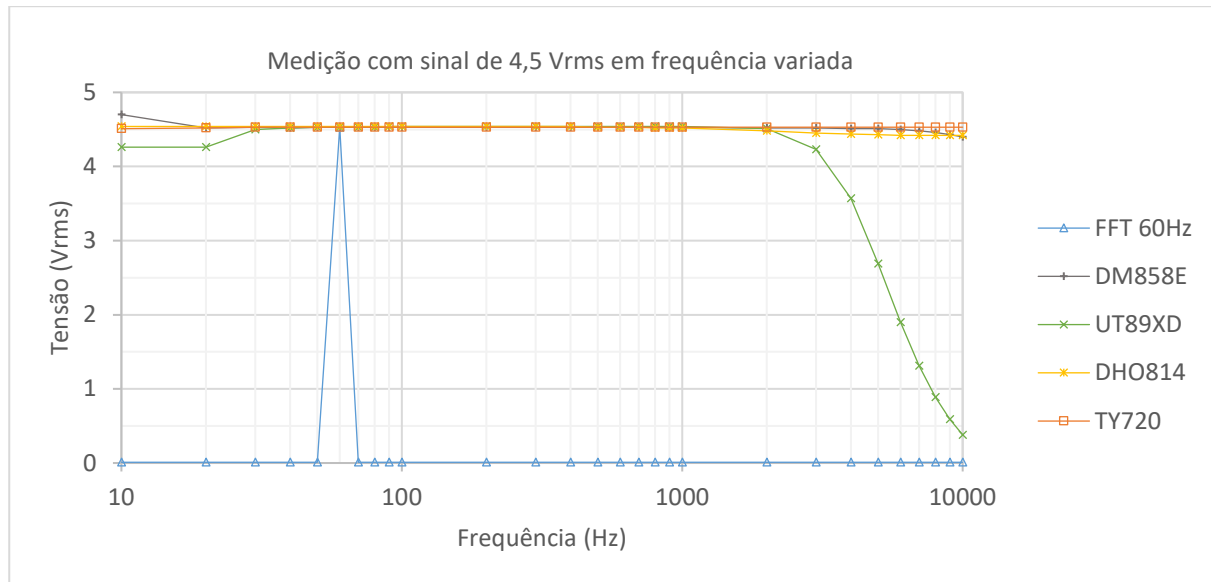
Testes comparativos entre instrumentos

Neste teste foram utilizados, além do instrumento desenvolvido, um multímetro de uso geral (Uni-T UT89XD), um multímetro de bancada (Rigol DM858E), um multímetro de aplicação industrial (Yokogawa TY720) e um osciloscópio (Rigol DHO814).

Com o objetivo de avaliar a resposta em frequência dos instrumentos, o primeiro teste foi executado com o uso de um gerador de funções conectado aos instrumentos, onde foi gerado um sinal senoidal de 4,5 Vrms com frequência ajustada manualmente em escala logarítmica, de modo a se obter um Diagrama de Bode contendo tensões medidas nas frequências de 10 Hz a 10.000 Hz. O valor de 4,5

Vrms foi escolhido por representar o valor central entre as tensões mínima (4 Vrms) e máxima (5 Vrms) aceitáveis definidas no procedimento interno da CPTM para ajuste de circuitos de via baseados no relé Vane, modelo PV-250.

Figura 9 - Resultados da medição de 4,5 Vrms em diversas frequências com os instrumentos testados.

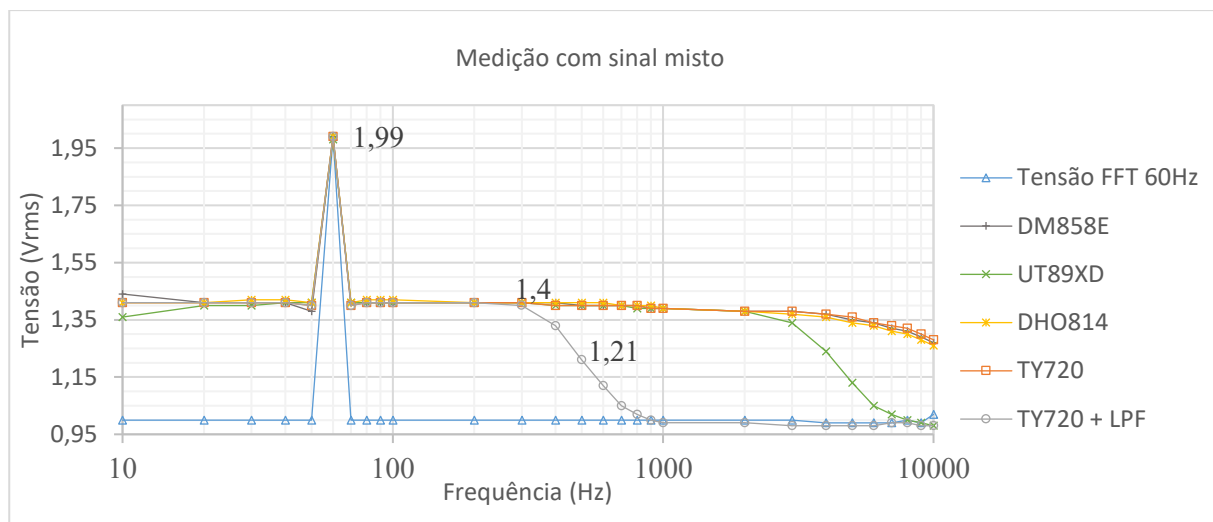


Fonte: elaborado pelos autores (2025).

No gráfico da figura 9, observa-se que o instrumento desenvolvido apresentou valor de tensão apenas quando o sinal medido estava em 60 Hz, sem ser influenciado por outras frequências. Já o multímetro UT89XD apresentou valores inconsistentes abaixo de 30 Hz e acima de 2.000 Hz, indicando que medições fora dessa faixa não são confiáveis para esse instrumento.

Para avaliar o comportamento dos instrumentos com sinais sobrepostos de diferentes frequências, dois canais do gerador de funções foram conectados a um circuito somador. O sinal 1 foi gerado em 60 Hz com 1 Vrms fixo, e o sinal 2, com a mesma amplitude, porém com frequência variando de 10 Hz a 10.000 Hz, permitindo a construção do Diagrama de Bode exibido na figura 10.

Figura 10 - Resultados das medições com a tensão de 1 Vrms em 60 Hz, somado a 1 Vrms em frequências variadas.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

A partir do gráfico na figura 10, nota-se que o instrumento desenvolvido manteve a leitura de 1 Vrms, mesmo com o segundo sinal sobreposto. Quando as duas frequências coincidiram, todos os instrumentos passaram a exibir 1,99 Vrms, como esperado. Nas demais frequências, até 2000 Hz, os instrumentos comerciais indicaram tensões entre 1,38 e 1,44 Vrms.

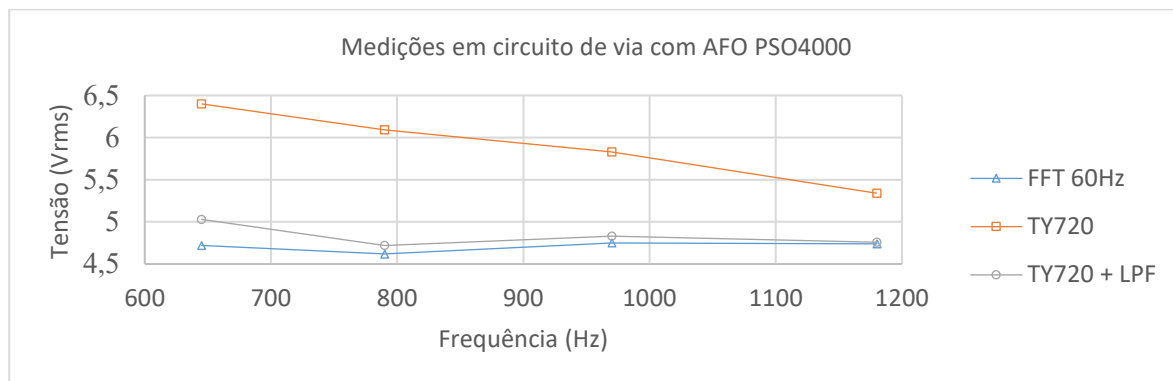
Medições realizadas em ambiente controlado

Após a análise comparativa, foram conduzidos testes em ambiente controlado, utilizando um circuito de via real com relé PV-250 sobreposto a um circuito com AFO, modelo PSO4000, fabricado pela Siemens. Este modelo de AFO permite a configuração da frequência de operação, simplificando a execução de testes com diversas frequências diferentes sem a necessidade de se substituir os equipamentos.

Para a realização do teste, o AFO foi desligado e o circuito de via ajustado de modo que a tensão na bobina de controle do relé ficou em 4,75 V e então o AFO foi religado.

Foram realizadas medições de tensão diretamente no ponto conectado à bobina de controle do relé PV-250 e a configuração de frequência foi ajustada no AFO de modo que, para cada frequência, foi coletada uma medição com o instrumento desenvolvido e o multímetro TY720 operando com e sem seu filtro passa-baixas (LPF); o resultado é exibido no gráfico da figura 11.

Figura 11 - Medições realizadas comparando o instrumento desenvolvido e o multímetro TY720 com e sem o filtro passa-baixas (LPF) ligado.



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

Baseando-se nas curvas apresentadas, observa-se que o multímetro TY720 apresentou uma variação de cerca de 35,6 % na tensão medida em relação à medição com FFT quando o AFO operava em frequências mais baixas. Com o filtro passa-baixas ativo (TY720+LPF), essa diferença caiu para 6,6 % na presença da frequência de 645 Hz. Conforme a frequência do AFO aumenta, as diferenças tendem a diminuir.

Testes em campo

Para validar o instrumento em condições reais, foram feitas medições em dois circuitos de via com equipamentos AFO PSO4000 operando nas frequências de 645 Hz e 790 Hz.

As medições compararam os valores exibidos pelo instrumento desenvolvido com aqueles obtidos pelo multímetro TY720 atuando com e sem seu filtro passa-baixas ativado. Como parâmetro de referência, também foram realizadas medições com os equipamentos AFO desligados. Os resultados obtidos serviram de base para a elaboração da Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das medições em campo				
Medição		AFO Desligado (Vrms)	AFO Ligado (Vrms)	Diferença (%)
Circuito 1 (60Hz+645Hz)	FFT 60Hz	4,52	4,53	0,22
	TY720	4,49	4,60	2,45
	TY720+LPF	4,51	4,54	0,67
Circuito 2 (60Hz+790Hz)	FFT 60Hz	4,50	4,55	1,11
	TY720	4,49	5,03	12,03
	TY720+LPF	4,48	4,58	2,23

Fonte: elaborado pelos autores (2025)

Para identificar as diferenças entre as medições no circuito com o AFO ligado e desligado foi aplicada a equação (11):

$$Diferença(\%) = \frac{AFO\ Ligado - AFO\ Desligado}{AFO\ Desligado} \times 100 \quad (11)$$

Os dados apresentados na Tabela 1 mostram que a medição de tensão com uso da FFT foi a que apresentou as menores diferenças percentuais entre as medições com AFO ligado e desligado, sendo menos suscetível a alterações causadas pela presença de frequências diferentes somadas ao sinal de interesse.

Além de medições de tensão, o instrumento também foi aplicado em situações de falha, nas quais o AFO não indicava circuito livre, mesmo sem a presença de trem. O gráfico espectral foi usado para verificar a existência de outra frequência, embora apenas a de 60 Hz tivesse sido detectada. Após o reparo do cabo entre o AFO transmissor e os trilhos, a frequência do AFO passou a ser visível, demonstrando mais uma aplicação prática da FFT na ferrovia.

Considerações finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e a avaliação de um instrumento de medição com sistema embarcado, capaz de medir tensões RMS em circuitos de via mistos com sinais de 60 Hz combinados com harmônicas de áudio frequência (AFO). Utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT), a solução demonstrou ser eficaz ao permitir medições precisas sem a necessidade de desligar os AFOs, superando um dos principais obstáculos das manutenções em sistemas com relés Vane e circuitos de áudio frequência.

Os testes mostraram que o instrumento apresentou desempenho confiável, isolando com precisão a frequência de 60 Hz mesmo na presença de outras harmônicas. Em comparação com equipamentos comerciais, atendeu às exigências técnicas do ajuste de tensões em campo, com resultados consistentes. Seu design compacto, interface intuitiva e alimentação por bateria o tornaram prático e eficiente para aplicações em campo.

Por outro lado, a aplicação da FFT exige recursos de hardware, como memória proporcional ao número de amostras e capacidade de processamento rápido, o que limita seu uso em sistemas com restrições computacionais.

O desenvolvimento foi baseado nas frequências utilizadas na linha estudada, mas AFOs podem operar em até 20.000 Hz. Assim, apesar dos resultados promissores, há espaço para melhorias que ampliem a aplicabilidade da solução no contexto ferroviário. Uma possível evolução seria a integração de algoritmos adaptativos e softwares para análise e armazenamento em tempo real, além da aplicação de uma técnica para redução da dispersão espectral, como a proposta por Tian e Zhang (2025).

Referências

CPTM. **Folha de dados para execução de regulação de CDV's nas linhas da CPTM**, Set 2013.

Documento interno não publicado.

DÓRDOLO, Lucas et al. Modular system for the monitoring of railway signaling equipment, **IEEE Latin America Transactions**, v. 18, n. 2, p. 280-287, Fev. 2020.

DOI: 10.1109/TLA.2020.9085281.

HAVAEI, Pedram; SANDIDZADEH, Mohamed. A New Design for Audio Frequency Track Circuits using Rail Resistance in Oscillator. **International Journal of Railway Research**, v. 9, n. 2, p. 47-60, Dez. 2022. DOI: 10.22068/ijrare.312.

LIU, Y.; JIANG, B.; WANG, C.; GENG, S. Power system harmonic analysis based on windowed FFT and wavelet transform. 2011 **4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)**, p. 225–228, Jul. 2011. DOI: 10.1109/DRPT.2011.5993893.

OGUNSOLA, A.; REGGIANI, U.; SANDROLINI, L. Demonstrating signaling compatibility between two train control systems. 2007 **18th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility**, p. 361–364, Set. 2007. DOI: 10.1109/EMCZUR.2007.4388270

OPPENHEIM A. V.; SCHAFER R. W. **Discrete-Time Signal Processing**. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1999.

OPPENHEIM, A. V.; WILLISKY A. S. **Sinais e sistemas**. São Paulo, Pearson, 2010.

PACHL, J. **Railway Signalling Principles**: Edition 3.0. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, 2024. DOI: 10.24355/dbbs.084-202405240811-0.

PALUMBO, M. **Railway Signaling since the Birth to ERTMS**. Railway Signaling Europe, p. 1–6, 2013. Disponível em: http://www.railwaysignalling.eu/wp-content/uploads/2013/11/Railway_Signalling_since_birth_to_ERTMS.pdf. Acesso em: 13 out. 2024.

REICH, E. W.; WRIGHT, G. I. Modern railway signaling. **Electrical Engineering**, v. 52, n. 10, p. 712–715, Out. 1933. DOI: 10.1109/EE.1933.6430454.

SOUZA, Gustavo et al. Implementação de FFT de 1600 pontos em microcontrolador ARM Cortex-M7 para cálculo de harmônicas em sistema elétrico trifásico. In: **COMPUTER ON THE BEACH**, 14, 2023, Florianópolis. Anais. Florianópolis: UNIVALI, 2023. p. 187–193. DOI: 10.14210/cotb.v14.p187-193.

TIAN, Yidong; ZHANG, Cheng. An Improved Accuracy Harmonic Extraction Method for Microcontrollers, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, v. 72, n. 5, p. 5344-5352, Mai. 2025. DOI: 10.1109/TIE.2024.3472288.

WESTINGHOUSE AIR BRAKE COMPANY. **Service Manual 5906**: Installation, application and maintenance of Audio Frequency Overlay (AFO-II equipment), Jan. 1976. Disponível em: <https://globalproductssupport.sts.hitachirail.com/productsegments/waytrainsep/servicemanuals/usa/public/5906.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

Robótica na saúde: construção e testes de um robô de triagem médica

Robotics in healthcare: construction and testing of a medical triage robot

Engenharia de Controle e Automação

Luiz Eduardo Morais de Oliveira (engenluizeduardo@gmail.com)

Graduado em Engenharia Mecatrônica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Rogério Issamu Yamamoto (leandro.poloni@gmail.com)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie e da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA).

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 206

• ISSN 2525-8729

Submissão: 21 abr. 2025 Aceitação: 22 maio 2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 176 - p. 196

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo de robô de telepresença para triagem médica com aquisição remota de temperatura corporal e frequência cardíaca. A metodologia compreendeu a definição dos requisitos do sistema, a seleção dos componentes por matriz de decisão ponderada e a avaliação experimental em bancada. O protótipo apresentou custo total de R\$ 843,60. A velocidade linear experimental foi de 0,081 m/s, com erro percentual de 10,96% em relação ao valor teórico. Na avaliação dos sensores fisiológicos, o sensor de temperatura apresentou erro absoluto médio de 1,43°C em comparação com o instrumento de referência, enquanto o sensor de frequência cardíaca apresentou erro absoluto médio de 2,30 BPM e erro percentual médio de 2,87%, compatível com o critério de precisão estabelecido para o protótipo. Os resultados demonstram a viabilidade da arquitetura proposta como prova de conceito para integração entre mobilidade, monitoramento fisiológico e comunicação remota, indicando a necessidade de validação em ambiente clínico e utilização de sensores com certificação médica para aplicações assistenciais.

Palavras-chave: Robô. Saúde. Telepresença.

Abstract

This study presents the development and evaluation of a telepresence robot prototype for medical triage, featuring remote body temperature and heart rate acquisition. The methodology involved defining system requirements, selecting components using a weighted decision matrix, and conducting experimental bench testing. The prototype had a total cost of R\$ 843.60. The experimental linear speed was 0.081 m/s, with a percentage error of 10.96% relative to the theoretical value. In the physiological sensor evaluation, the temperature sensor showed a mean absolute error of 1.43°C compared to the reference instrument, while the heart rate sensor showed a mean absolute error of 2.30 BPM and a mean percentage error of 2.87%, meeting the accuracy criteria established for the prototype. The results demonstrate the feasibility of the proposed architecture as a proof of concept for integrating mobility, physiological monitoring, and remote communication, while highlighting the need for validation in a clinical setting and the use of medically certified sensors for healthcare applications.

Keywords: Robot. Health. Telepresence.

Introdução

A triagem médica é o processo por meio do qual profissionais de saúde avaliam pacientes na admissão hospitalar para classificar a gravidade clínica e priorizar o atendimento, sendo o Protocolo de Manchester uma das metodologias mais utilizadas internacionalmente para essa finalidade. Segundo Mackway-Jones, Marsden e Windle (2013), o protocolo classifica os pacientes em cinco níveis de prioridade por cores: vermelho (emergência), laranja (muito urgente), amarelo (urgente), verde (pouco urgente) e azul (não urgente), definidos a partir da aferição de sinais vitais como temperatura, pressão arterial, frequência respiratória e frequência cardíaca (Manta et al., 2020).

A avaliação presencial de pacientes pressupõe, no entanto, proximidade física entre profissional e paciente, o que pode ser inviável em cenários de isolamento, risco de contágio ou difícil acesso geográfico, situação agravada durante a pandemia de Covid-19, quando cerca de 29% dos profissionais de saúde da linha de frente foram infectados no exercício da função (Firew et al., 2020). Nesse contexto, a literatura tem explorado soluções de telepresença para reduzir o contato direto: robôs assistivos em enfermarias de isolamento têm sido empregados para videoconferência, monitoramento e prevenção de infecções cruzadas (Yang et al., 2020); tecnologias biométricas remotas permitem a coleta de sinais vitais para apoiar triagens à distância (Manta et al., 2020); e, em regiões remotas, a telepresença robótica amplia o acesso ao cuidado e reduz transferências desnecessárias (Russell et al., 2024). O robô de telepresença surge, assim, como uma alternativa tecnológica plausível para a etapa inicial da avaliação clínica, combinando comunicação remota e coleta de sinais vitais.

Este trabalho descreve um protótipo de pesquisa, com custo total de montagem inferior a R\$ 1.000,00, concebido como prova de conceito para coletar temperatura corporal e frequência cardíaca por meio de uma plataforma móvel controlada remotamente. O estudo concentra-se na integração entre mobilidade, comunicação sem fio e monitoramento fisiológico, e não na substituição de dispositivos clínicos certificados.

As contribuições deste estudo são: (a) demonstração de que é tecnicamente viável desenvolver um protótipo de robô de telepresença com coleta de sinais vitais (temperatura corporal e frequência cardíaca) a um custo de montagem inferior a R\$ 1.000,00, contrastando com os valores declarados para sistemas comerciais equivalentes, como InTouch Vita (US\$ 80.000,00), Double 3 e Temi 3

(Double Robotics, 2022; Intouch Health, 2022; Temi, 2022), e evidenciando que a barreira de custo não é impeditiva para a integração de mobilidade e sensoriamento fisiológico em uma única plataforma; e (b) demonstração de que a abordagem proposta é funcional para os cenários de atendimento à distância descritos, oferecendo um ponto de partida replicável para grupos de pesquisa e serviços de saúde com recursos limitados que busquem soluções para triagem remota em contextos de isolamento, contenção de contágio ou acesso geográfico restrito.

Referencial teórico

A triagem funciona como instrumento de alocação de recursos limitados em unidades de urgência, e sua eficácia depende do sistema de classificação adotado. Comparações entre o Manchester Triage System (MTS) e o Emergency Severity Index (ESI) indicam que o MTS oferece maior granularidade diagnóstica e está associado a menor tempo de permanência em cenários de trauma (Ingielewicz et al., 2025), o que reforça sua adoção como referência neste estudo.

Nesse contexto, robôs de serviço e sistemas de telepresença surgem como alternativas tecnológicas para viabilizar essa triagem à distância (Holland et al., 2021). O estado da arte já demonstra viabilidade técnica para robôs de triagem: a plataforma Dr. Spot realiza triagem sem contato, medindo temperatura cutânea (erro médio de 0,3°C), frequência cardíaca e respiratória com precisão comparável a métodos tradicionais (Huang et al., 2022); outras soluções integram sensores de radar mmWave e imagem térmica para monitoramento contínuo (Liao et al., 2023); e revisões da literatura apontam que a integração multimodal de sensores em plataformas móveis pode reduzir o tempo de espera e otimizar o fluxo clínico (Souza et al., 2024).

O quadro 1 apresenta uma análise comparativa entre robôs de telepresença comerciais de referência, considerando características, custo estimado, desempenho de velocidade, disponibilidade de sensores biomédicos e status de certificação clínica:

Quadro 1 – Análise comparativa entre o protótipo desenvolvido e robôs comerciais de telepresença.

Característica	Double 3	InTouch Vita	Temi 3
Custo aproximado	US\$ 4.499	US\$ 80.000	US\$ 5.000
Velocidade máxima	N/D	1,5 m/s	~1,0 m/s
Sensores biomédicos	Não	Integráveis (externo)	Não
Comunicação	WiFi / 4G	WiFi / 4G	WiFi / 4G
Certificação médica	Não	Sim (FDA)	Não
Finalidade principal	Escritório e educação	Teleconsulta hospitalar	Doméstico e hospitalar

Fontes: Double Robotics (2022), InTouch Health (2022), Temi (2022).

Conforme evidenciado no quadro 1, os custos variam de US\$ 4.499 (Double 3) a US\$ 80.000 (InTouch Vita), sendo este último o único a oferecer certificação médica (FDA) e sensores biomédicos integráveis, diferenciais que justificam seu custo consideravelmente superior frente aos concorrentes, que não realizam coleta de sinais vitais. Ainda assim, o uso de telepresença robótica em cuidados críticos pode gerar economias de até US\$ 1,1 milhão por ano, devido à redução de transportes médicos e intervenções precoces que reduzem a mortalidade em até 59% (Teng et al., 2022), o que evidencia o potencial valor clínico e financeiro de soluções de menor custo que incorporem sensoramento fisiológico. Essa relevância do sensoramento fisiológico se justifica pelo papel dos sinais vitais como preditores de desfechos críticos, uma vez que o monitoramento contínuo dessas variáveis pode antecipar choques sépticos horas antes de serem realizadas medições manuais intermitentes (Choi et al., 2022).

Por fim, ao avaliar a implementação dessas tecnologias, deve-se considerar o efeito Hawthorne, definido como a mudança de comportamento humano decorrente da consciência de estar sob observação (Berkhout et al., 2022). Estudos em ambientes de trauma mostram que o desempenho da equipe pode declinar gradualmente após a introdução de observadores, o que sugere que testes piloto de robôs devem ser interpretados com cautela para distinguir o

desempenho técnico do sistema em relação à reatividade comportamental inicial do voluntário observado (Gyedu et al., 2024).

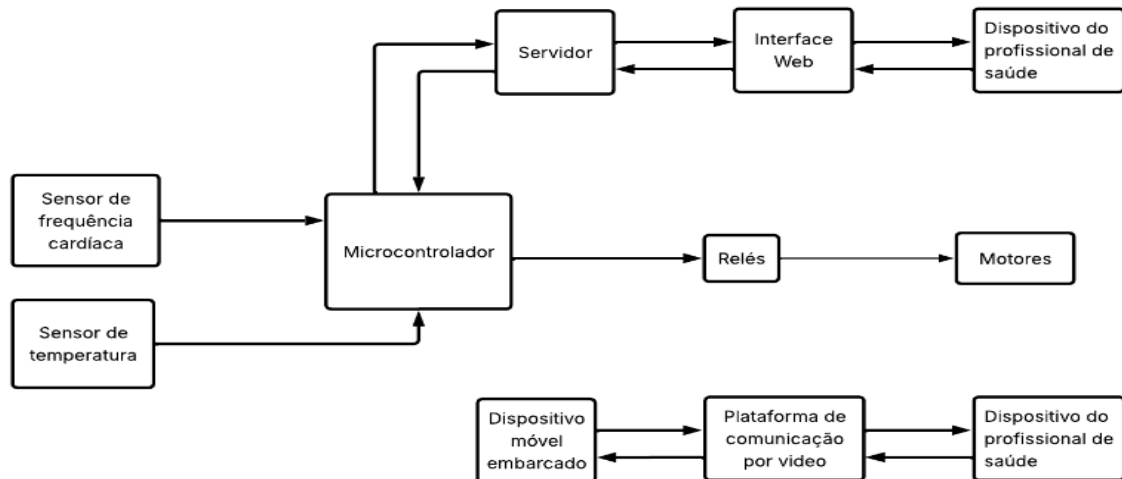
Metodologia

O desenvolvimento do protótipo foi conduzido em três etapas: definição dos requisitos do sistema, seleção dos componentes e avaliação do funcionamento e do desempenho. A primeira etapa estabeleceu os requisitos funcionais e não funcionais utilizados como referência para o desenvolvimento do sistema. Na segunda, foram selecionados os componentes por meio de critérios técnicos e econômicos previamente definidos. Na terceira etapa, foram realizados ensaios de bancada para avaliar a mobilidade da plataforma e o desempenho dos sensores fisiológicos.

Requisitos do sistema

A arquitetura do sistema foi composta por um microcontrolador responsável pelo processamento das informações e gerenciamento dos dispositivos embarcados; sensores para aquisição de temperatura corporal e frequência cardíaca; motores de corrente contínua acionados por módulos de relé para a locomoção da plataforma; módulo de comunicação sem fio para transmissão dos dados e recebimento de comandos remotos e um sistema independente de videochamada executado em dispositivo móvel embarcado, permitindo comunicação audiovisual entre paciente e profissional de saúde sem integração direta ao microcontrolador. A organização funcional do sistema é apresentada na figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de funcionamento do projeto



Fonte: elaboração dos autores (2022).

A partir dessa arquitetura foram definidos os requisitos funcionais do sistema. A plataforma deveria executar movimentos de avanço, recuo e rotações nos dois sentidos por controle remoto. O microcontrolador deveria disponibilizar, no mínimo, quatro portas digitais para acionamento dos relés, uma entrada analógica para leitura do sensor de temperatura e duas portas destinadas ao sensor de frequência cardíaca. O sensor de temperatura deveria operar na faixa de 35°C a 38°C, correspondente aos limiares considerados pelo Protocolo de Manchester (Mackway-Jones; Marsden; Windle, 2013), com incerteza máxima de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. O sensor de frequência cardíaca deveria abranger a faixa de 40 a 140 BPM, compatível com valores utilizados na triagem clínica (Candel et al., 2022), com incerteza máxima de $\pm 5\%$ da leitura. O sistema também deveria transmitir dados e receber comandos por rede Wi-Fi, enquanto a comunicação audiovisual deveria ocorrer por plataforma de videochamada independente.

Os requisitos não funcionais estabeleceram como restrições de projeto o custo máximo de R\$ 1.000,00, dimensões compatíveis com a acomodação dos componentes embarcados e compatibilidade elétrica entre os dispositivos selecionados, dispensando circuitos adicionais de adaptação. Esses requisitos constituíram os critérios utilizados nas etapas subsequentes de seleção dos componentes e avaliação experimental.

Seleção dos componentes

A seleção dos componentes foi realizada em duas etapas. Inicialmente foram selecionados a estrutura física, o microcontrolador, os sensores e as ferramentas de software, cujos critérios independem da massa total do sistema. Após essa definição, foi estimado o peso embarcado, utilizado como parâmetro para a seleção dos motores.

Antes da comparação técnica, todas as alternativas foram submetidas a um critério eliminatório baseado no custo unitário, excluindo-se os componentes incompatíveis com o orçamento estabelecido. As alternativas remanescentes foram avaliadas por meio de uma matriz de decisão ponderada construída a partir das especificações técnicas disponibilizadas pelos fabricantes. O custo recebeu peso de 50%, por constituir a principal restrição não funcional do projeto; os critérios técnicos diretamente relacionados aos requisitos funcionais receberam peso de 30%; e os critérios complementares receberam peso de 20%. Cada alternativa recebeu pontuação entre 1 e 5 para cada critério, sendo selecionado o componente que apresentou o maior a maior pontuação final.

As especificações técnicas foram obtidas em folhas de dados, catálogos de fabricantes e documentação técnica. Os custos foram levantados em julho de 2022 por meio de pesquisa nos mercados nacionais e internacionais de componentes eletrônicos, considerando o menor preço disponível para cada item e desconsiderando o frete. Os valores originalmente cotados em dólar foram convertidos para reais utilizando a cotação PTAX média de compra do Banco Central do Brasil referente ao mesmo período (Banco Central do Brasil, 2022).

Os critérios de avaliação foram definidos conforme a função de cada componente no sistema. Para a estrutura física foram considerados densidade e custo. O microcontrolador foi avaliado pelo número de portas de entrada e saída, interfaces de comunicação e custo. Os motores foram comparados quanto ao torque nominal e ao custo, considerando o peso total estimado da plataforma. Para o sensor de temperatura adotaram-se faixa de medição, precisão e custo; para o sensor de frequência cardíaca, tensão de alimentação e custo. O ambiente de desenvolvimento foi selecionado com base na compatibilidade com o microcontrolador e na disponibilidade de bibliotecas, enquanto a plataforma de monitoramento remoto foi avaliada pela compatibilidade com o protocolo de comunicação e pelo custo de utilização. Os componentes selecionados são apresentados na seção de análise e discussão dos resultados.

Metodologia de avaliação de funcionamento e desempenho

Os ensaios foram conduzidos em ambiente de bancada para se verificar o atendimento aos requisitos definidos na seção requisitos do sistema. Foram avaliados os subsistemas de mobilidade e de sensoriamento fisiológico. Os resultados apresentam caráter exploratório e não constituem validação clínica.

Avaliação da mobilidade

A mobilidade foi verificada pela execução dos movimentos de avanço, recuo, rotação à direita e rotação à esquerda, além da estimativa da velocidade linear da plataforma. A velocidade teórica foi calculada a partir da velocidade angular nominal dos motores e do raio das rodas, conforme a equação 1:

$$v_{\text{teo}} = \omega \times r \quad (1)$$

em que v_{teo} representa a velocidade linear teórica, ω a velocidade angular dos motores e r o raio das rodas. A velocidade experimental foi obtida pelo tempo necessário para o deslocamento do protótipo em distância conhecida sobre superfície plana, conforme a equação 2:

$$v_{\text{exp}} = d / \Delta t \quad (2)$$

em que v_{exp} representa a velocidade linear experimental, d é a distância percorrida e Δt é o intervalo de tempo medido.

A divergência entre os valores teórico e experimental foi expressa pelo erro percentual relativo, conforme a equação 3:

$$E\% = |v_{\text{exp}} - v_{\text{teo}}| / v_{\text{teo}} \times 100 \quad (3)$$

em que $E\%$ representa o erro percentual relativo.

Avaliação dos sensores fisiológicos

O desempenho dos sensores de temperatura e frequência cardíaca foi avaliado por comparação com instrumentos de referência apresentados no quadro 2. Foram realizadas dez medições consecutivas em um voluntário para o cálculo de estatísticas descritivas. O sensor de temperatura

foi posicionado em contato com o dedo indicador do voluntário, em razão das características construtivas do sensor, que requer contato direto com a superfície cutânea (Joy-It, 2017) enquanto o instrumento de referência foi aplicado na região axilar, região vascularizada com temperatura próxima à temperatura corporal central (Gordon; Alsayouri, 2019). O sensor de frequência cardíaca foi posicionado na polpa digital do dedo indicador, região com densa rede capilar adequada ao princípio de fotopletiografia, uma vez que a ponta do dedo é utilizada para esse tipo de medição em razão da perfusão sanguínea (Manta et al., 2020), e comparado a um monitor de pulso no mesmo membro superior (Omron, 2015). A diferença entre os locais de medição constitui limitação experimental do ensaio. O erro percentual relativo entre as leituras foi calculado conforme a equação 4:

$$E\% = |x_i - r_i| / r_i \times 100 \quad (4)$$

em que E% é o erro percentual relativo, x_i é a leitura do sensor do protótipo na medição i e r_i é a leitura do instrumento de referência na mesma medição i .

Quadro 2 – Instrumentos de referência adotados na avaliação dos sensores fisiológicos

Sensor avaliado	Instrumento de referência	Faixa de medição	Incerteza declarada
Temperatura	Termômetro digital Multilaser HC070	32 °C a 42 °C	±0,1 °C
Frequência cardíaca	Monitor de pulso Omron HEM-6122	40 a 180 BPM	±5% da leitura

Fonte: fabricantes (Multilaser, [20--]; Omron, 2015).

Tratamento dos dados

As leituras obtidas foram analisadas por estatística descritiva mediante cálculo da média aritmética ($\bar{x}$), do desvio padrão amostral (s) e do erro absoluto médio (EAM) em relação ao instrumento de referência, conforme as equações 5, 6 e 7, respectivamente:

$$\bar{x} = (1/n) \sum x_i \quad (5)$$

$$s = \sqrt{[(1/(n-1)) \sum (x_i - \bar{x})^2]} \quad (6)$$

$$EAM = (1/n) \sum |x_i - r_i| \quad (7)$$

em que x_i é a leitura do sensor do protótipo na medição i ; r_i é a leitura do instrumento de referência; $\bar{x}$ é a média aritmética; e n é o número total de medições. Essas métricas permitem caracterizar,

respectivamente, a tendência central das leituras, a dispersão dos dados e o desvio sistemático do sensor em relação ao instrumento de referência, sem pressupor distribuição normal dado o reduzido tamanho amostral.

Análise e discussão dos resultados

Os resultados são apresentados em três etapas: seleção de componentes, construção e operacionalização e avaliação de funcionamento e desempenho do protótipo.

Resultado da seleção de componentes

A aplicação da matriz de decisão ponderada, associada à eliminação prévia por custo, resultou na seleção dos componentes descritos no quadro 3. Os critérios empregados consideraram as especificações técnicas disponíveis em folhas de dados, catálogos de fabricantes e informações de fornecedores comerciais.

Quadro 3 – Componentes selecionados e custo total do protótipo

Componente	Modelo / Especificação	Custo (R\$)
Madeira (pinus)	Barras e placa para chassi	24,00
Demais componentes da estrutura física	Acopladores, rodas, suportes para motor, cano PVC, suporte para celular, parafusos e cola	210,00
Componentes elétricos	Cabos e alimentação	20,00
Microcontrolador	ESP32S NodeMCU ESP-12	37,00
Sensor de temperatura	KY-028 NTC 10k	5,00
Sensor de frequência cardíaca	MAX30100	23,00
Motores DC	Micromotor DC AK380/5.5MF24R35CE	479,60
Módulo de relé	Módulo 8 relés com optoacopladores, acionamento por nível lógico, operação em 5 V	45,00
Ambiente de desenvolvimento	Arduino IDE	Gratuito
Plataforma de monitoramento remoto	Blynk IoT	Gratuito
Total geral	R\$ 843,60	

Fonte: elaboração dos autores (2022).

Na estrutura física, o pinus apresentou o maior valor (5,00), em razão da menor densidade entre as alternativas avaliadas e do menor custo unitário. A escolha desse material permitiu acomodar os componentes embarcados em uma base quadrangular de 30 cm de lado e 1 cm de espessura, compatível com o requisito definido na seção requisitos do sistema.

Para o microcontrolador, o ESP32S NodeMCU ESP-12 obteve o maior melhor resultado (5,00), por atender ao número mínimo de portas requerido, apresentar conectividade Wi-Fi integrada e possuir menor custo entre os modelos analisados. O ESP8266 NodeMCU ESP-12 e o Raspberry Pi Pico 2 W apresentaram pontuações inferiores em razão de limitações funcionais e de custo.

No caso do sensor de temperatura, o KY-028 NTC 10k foi selecionado por apresentar faixa de medição compatível com a faixa fisiológica definida nos requisitos e menor custo em relação às demais alternativas. Embora o MLX90614ESF ofereça faixa de medição superior, seu custo comprometeu a seleção. Para o sensor de frequência cardíaca, o MAX30100 obteve a maior pontuação por apresentar compatibilidade elétrica com o ESP32 e menor custo unitário. Entre os motores, o Micromotor DC AK380/5.5MF24R35CE foi selecionado por apresentar torque suficiente para a massa embarcada estimada em 0,4 kg e custo inferior ao das alternativas de maior torque.

O Arduino IDE foi selecionado como ambiente de desenvolvimento por ser gratuito, compatível com o ESP32 e amplamente documentado. A plataforma Blynk IoT foi escolhida para o monitoramento remoto por permitir interface configurável e comunicação com o ESP32 por rede Wi-Fi.

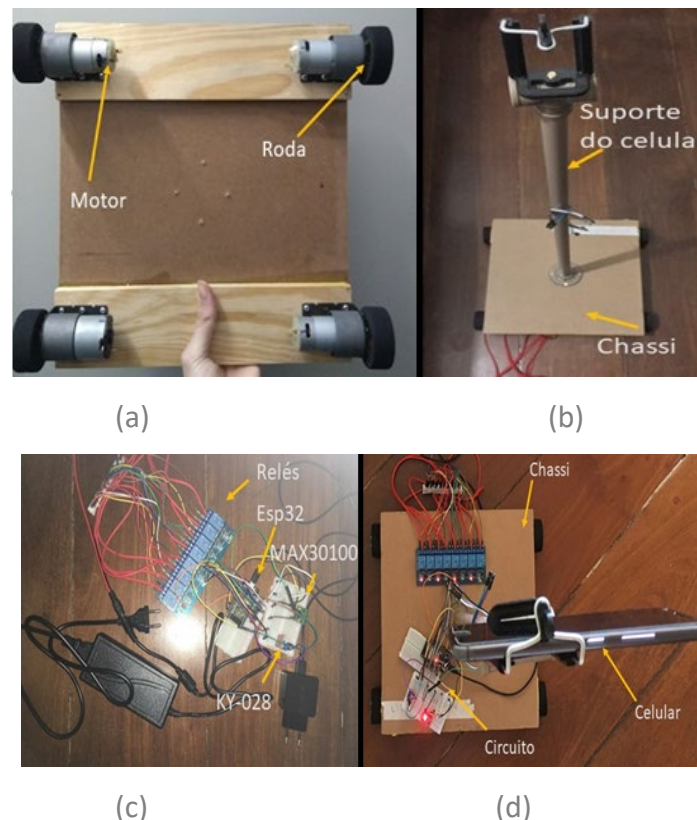
O custo total do protótipo foi de R\$ 843,60, valor inferior ao limite de R\$ 1.000,00 estabelecido nos requisitos não funcionais. O quadro 3 resume os componentes selecionados e seus respectivos custos.

Construção e operacionalização do protótipo

A montagem do protótipo foi realizada em duas etapas: construção da estrutura física e integração do circuito elétrico. O chassi foi confeccionado em madeira de pinus no formato quadrangular de 30 cm de lado, com fixação dos motores DC por suportes laterais e acoplamento das rodas por meio de conectores apropriados. Na parte superior, foi instalado o suporte para o sistema de visualização

em paralelo, composto por flange de PVC, cano de PVC e suporte para celular. As etapas de montagem são apresentadas nas figuras 2(a) e 2(b).

Figura 2 – Etapas de montagem do protótipo: (a) estrutura do chassi em madeira compensada com motores DC de 12 V fixados por suportes em L e rodas de neoprene acopladas; (b) vista superior do chassi com suporte de câmera em cano PVC de 80 cm e flange de fixação; (c) circuito elétrico embarcado composto por microcontrolador ESP32, módulos de relé, sensor MAX30100 e sensor KY-028 montados sobre o chassi; (d) protótipo completo e funcional em operação.



Fonte: elaboração dos autores (2022).

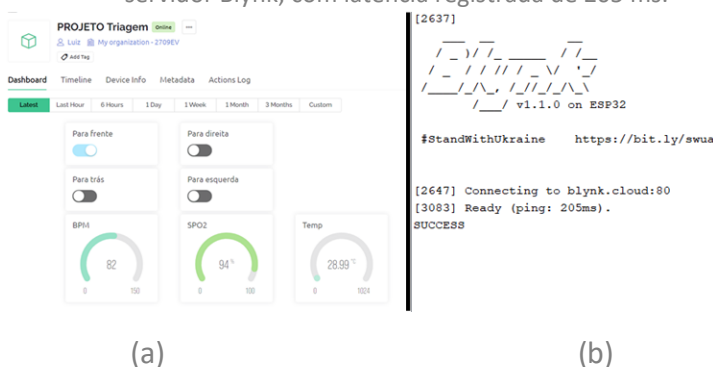
O circuito elétrico foi integrado ao chassi com posicionamento central do ESP32. O sensor MAX30100 foi conectado ao barramento I2C nas portas 21 e 22; o sensor KY-028 foi ligado à porta analógica 34 e o módulo de oito relés foi conectado às portas digitais 13, 25, 26, 27, 32, 33, 14 e 16, responsáveis pelo acionamento dos motores. A integração eletrônica e o protótipo completo são mostrados nas figuras 2(c) e 2(d).

A programação foi desenvolvida na IDE do Arduino, com uso das bibliotecas WiFi.h, WiFiClient.h, Wire.h, BlynkSimpleEsp32.h e MAX30100_PulseOximeter.h. O sistema foi configurado para envio

dos dados fisiológicos ao servidor em intervalo de 1 s e recebimento dos comandos de avanço, recuo, rotação à direita e rotação à esquerda por acionamento seletivo dos relés.

Com a construção e a programação concluídas, constatou-se a integridade estrutural do chassi sob a carga de componentes embarcados (0,4 kg), sem deformações ou desmontagem dos fixadores perceptíveis nas condições estática e de deslocamento (figuras 2a, 2d). A conexão entre o microcontrolador ESP32 e o servidor Blynk foi estabelecida com transmissão bidirecional de dados, evidenciada pela exibição dos valores fisiológicos e dos botões de controle de movimentação no dashboard remoto (figura 3a) e pelo tempo de resposta (ping) de 205 ms registrado no monitor serial do Arduino IDE (figura 3b), valor compatível com a faixa de latência típica de aplicações de controle remoto em redes Wi-Fi locais, inferior às médias entre 290 e 343 ms relatadas em estudos comparativos de protocolos IoT com ESP32 (Amirkhanov et al., 2025). Essa latência, inferior às médias relatadas na literatura para protocolos IoT baseados em ESP32 (Amirkhanov et al., 2025), está associada a menor intervalo de tempo entre o envio dos comandos de movimentação e sua execução, bem como entre a captura dos dados fisiológicos e sua exibição no dashboard remoto.

Figura 3 – Interface do sistema de monitoramento e comunicação remota: (a) dashboard configurado no servidor Blynk exibindo os dados fisiológicos captados pelos sensores e os botões virtuais de controle direcional do protótipo; (b) monitor serial do Arduino IDE exibindo o tempo de envio e recepção de dados entre o microcontrolador ESP32 e o servidor Blynk, com latência registrada de 205 ms.



Fonte: elaboração dos autores (2022).

Avaliação de funcionamento e desempenho

Mobilidade

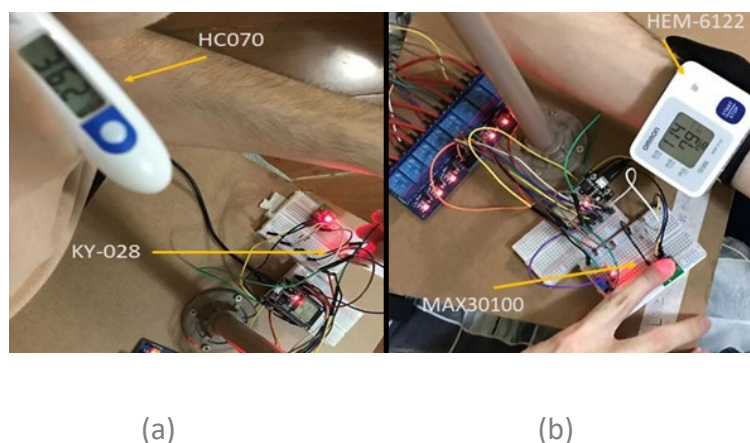
O protótipo executou os quatro movimentos previstos nos requisitos funcionais por meio do acionamento seletivo dos relés (figura 2d). A velocidade teórica foi estimada a partir da rotação nominal dos motores e do raio das rodas, resultando em 0,073 m/s. A velocidade experimental, obtida pelo percurso de 1,00 m em 12,35 s, foi de 0,081 m/s. O erro percentual relativo entre os valores foi de 10,96%, atribuído à presença de carga do robô nos motores. O protótipo apresentou velocidade constante na execução dos comandos recebidos, característica associada à previsibilidade de movimento requerida na interação entre robôs de serviço, pacientes e equipe em contato direto (Holland et al., 2021).

A velocidade obtida ficou abaixo da declarada para plataformas comerciais como InTouch Vita e Temi 3, em razão da escolha de motores com caixa de redução, definida pelo torque necessário para a massa embarcada e pelas restrições orçamentárias. Em ambiente hospitalar, essa limitação compromete a viabilidade operacional, pois o deslocamento entre leitos, enfermarias e corredores exige tempo de resposta compatível com a rotina clínica. A literatura também aponta a velocidade como fator restritivo ao desempenho de robôs de logística em hospitais de maior porte (Holland et al., 2021). Assim, embora a velocidade de 0,081 m/s seja adequada para a prova de conceito em ambiente controlado, ela limita o uso em cenários com múltiplos pacientes ou trajetos mais extensos. Em trabalhos futuros, podem ser adotados motores com menor relação de redução e maior velocidade angular, desde que seja preservado o torque necessário, além do controle por PWM para ampliar a flexibilidade operacional.

Sensores fisiológicos e implicações para triagem médica

Os resultados das medições dos sensores de temperatura e frequência cardíaca são apresentados nas tabelas 1 e 2. O procedimento experimental é ilustrado na figura 4.

Figura 4 – Procedimento experimental de aferição dos sinais fisiológicos: (a) medição simultânea de temperatura corporal com sensor posicionado no dedo indicador do voluntário e termômetro de referência posicionado na axila; (b) medição simultânea de frequência cardíaca com sensor posicionado na polpa digital do dedo indicador e monitor de referência posicionado no pulso do mesmo membro superior.



Fonte: elaboração dos autores (2022).

Tabela 1 – Medições de temperatura corporal pelo sensor KY-028 e pelo instrumento de referência HC070

Medição	KY-028 (°C)	HC070 (°C)	Erro percentual relativo (%)
1	33,7	35,8	5,87
2	34,8	36,0	3,33
3	37,4	36,5	2,47
4	35,8	36,6	2,19
5	33,4	36,7	8,99
6	35,6	36,6	2,73
7	37,4	36,4	2,75
8	34,5	36,6	5,74
9	35,7	36,4	1,92
10	35,4	36,6	3,28
Média	35,37	36,42	3,93
Desvio padrão	1,35	0,29	—
EAM	—	—	1,43 °C
Precisão declarada (datasheet)	±0,5 °C	±0,1 °C	—

Fonte: elaboração dos autores (2022).

A média das leituras do KY-028 foi de 35°C -37°C, com desvio padrão de 1,35°C, enquanto o instrumento de referência registrou média de 36,42°C e desvio padrão de 0,29°C. O erro absoluto médio foi de 1,43°C, acima da precisão declarada pelo fabricante para o sensor. Essa diferença está relacionada às condições de posicionamento adotadas no ensaio, incluindo o contato do termistor com a superfície cutânea e a discrepância entre os locais de medição. O resultado indica que, nas condições testadas, o sensor não reproduziu a precisão especificada em datasheet, o que limita seu emprego em aplicações clínicas.

Tabela 2 – Medições de frequência cardíaca e SpO₂ pelo sensor MAX30100 e pelo instrumento de referência Omron HEM-6122

Medição	MAX30100 (BPM)	Omron (BPM)	Erro percentual relativo (%)	SpO₂ (%)
1	77	78	1,28	94
2	78	76	2,63	95
3	80	80	0,00	96
4	78	81	3,70	97
5	77	81	4,94	95
6	79	81	2,47	97
7	78	80	2,50	97
8	80	77	3,90	97
9	78	83	6,02	97
10	80	79	1,27	97
Média	78,50	79,60	2,87	96,20
Desvio padrão	1,18	2,12	—	1,14
EAM	—	—	2,30 BPM	—
Precisão declarada (datasheet)	±5% da leitura	±5% da leitura	—	—

Fonte: elaboração dos autores (2022).

A média das leituras do MAX30100 foi de 78,50 BPM, com desvio padrão de 1,18 BPM, enquanto o instrumento de referência registrou 79,60 BPM e desvio padrão de 2,12 BPM. O erro absoluto médio foi de 2,30 BPM, com erro percentual relativo médio de 2,87%, abaixo do limite máximo admissível de $\pm 5\%$ definido nos requisitos. Esses valores indicam atendimento ao critério de precisão estabelecido para o sensor de frequência cardíaca nas condições do ensaio. Os valores de SpO₂ registrados apresentaram média de 96,20% (s = 1,14%), próxima à faixa de saturação de oxigênio de uma pessoa saudável: 97% a 99% ao nível do mar (Rojas-Camayo et al., 2018), sendo

apresentados como dados complementares e não conclusivos, uma vez que não foram comparados com um instrumento de referência dedicado, em razão da indisponibilidade de oxímetro certificado durante o ensaio.

Os sinais avaliados são compatíveis com os discriminadores utilizados em protocolos estruturados de triagem. Nessa perspectiva, a temperatura corporal e a frequência cardíaca não são tratadas como diagnóstico, mas como parâmetros de apoio à priorização do atendimento. O sistema proposto, portanto, não se limita à transmissão passiva de dados fisiológicos; ele organiza informações que podem subsidiar a classificação inicial de risco em contextos de atendimento remoto. A interpretação desses resultados deve considerar as limitações inerentes ao ensaio com voluntário humano em bancada, inclusive a possibilidade de influência do efeito Hawthorne. Além disso, a utilização de sensores sem certificação médica restringe a aplicação dos dados ao escopo experimental do protótipo. A leitura de temperatura, em especial, evidencia que a adequação do sensor ao intervalo fisiológico de interesse não é suficiente para garantir desempenho compatível com uso clínico.

No conjunto, os resultados indicam que a plataforma atende à função de prova de conceito para integração entre mobilidade, sensoriamento e comunicação remota. A arquitetura desenvolvida permite registrar dados fisiológicos e transmiti-los a uma interface remota, mas sua incorporação a fluxos clínicos requer validação adicional, substituição por sensores certificados e definição de lógica de apoio à decisão baseada em critérios de triagem

Considerações finais

O estudo demonstrou a possibilidade de integrar mobilidade, comunicação remota e sensoriamento fisiológico em uma plataforma de baixo custo, com custo total inferior ao limite definido nos requisitos do projeto. A arquitetura desenvolvida cumpriu a função de prova de conceito e permitiu a coleta remota de temperatura corporal e frequência cardíaca em ambiente controlado.

Os resultados também evidenciaram limitações relevantes. A velocidade de deslocamento ficou abaixo da observada em plataformas comerciais, em função da escolha de motores com redução mecânica e foco em torque. Além disso, o sensor de temperatura não apresentou, nas condições

testadas, desempenho compatível com sua precisão declarada, embora o sensor de frequência cardíaca tenha atendido ao critério de erro estabelecido para o protótipo.

Uma validação futura vai requerer ensaios em ambiente hospitalar, com amostras mais amplas, comparação com dispositivos certificados e avaliação sob condições de operação mais próximas do uso real. Também se recomenda a substituição dos sensores atuais por componentes com certificação médica, o aprimoramento do sistema de tração e a incorporação de lógica de classificação baseada no Protocolo de Manchester. Essa evolução pode ampliar a utilidade do protótipo como apoio à triagem remota e à organização inicial para o atendimento a pacientes.

Referências

AMIRKHANOV, B. et al. Evaluating HTTP, MQTT over TCP and MQTT over WEBSOCKET for digital twin applications: a comparative analysis on latency, stability, and integration. **International Journal of Innovative Research and Scientific Studies**, v. 8, n. 1, p. 679-694, 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cotações e boletins**. Cotação de fechamento Ptax do dólar dos EUA. Brasília: BCB, 2022. Disponível em:

<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>. Acesso em: 19 jul. 2022.

BERKHOUT, C. et al. Defining and evaluating the Hawthorne effect in primary care, a systematic review and meta-analysis. **Frontiers in Medicine**, v. 9, 1033486, 8 nov. 2022.

CANDEL, B. G. J. et al. The association between vital signs and clinical outcomes in emergency department patients of different age categories. **Emergency Medicine Journal**, v. 39, n. 12, p. 903-911, 2022.

CHOI, A. et al. Advantage of vital sign monitoring using a wireless wearable device for predicting septic shock in febrile patients in the emergency department: a machine learning-based analysis. **Sensors**, v. 22, n. 18, 7054, 17 set. 2022.

DOUBLE ROBOTICS. Double 3: the future of work is hybrid. 2022. Disponível em: <https://www.doublerobotics.com/>. Acesso em: 20 set. 2022.

FIREW, T. et al. Protecting the front line: a cross-sectional survey analysis of the occupational factors contributing to healthcare workers' infection and psychological distress during the COVID-19 pandemic in the USA. **BMJ Open**, v. 10, n. 10, e042752, 2020.

GORDON, A.; ALSAYOURI, K. **Anatomy, shoulder and upper limb, axilla**. In: STATPEARLS. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023.

GYEDU, A. et al. An evaluation of the Hawthorne effect in a clinical trial of trauma care in Ghana. **World Journal of Surgery**, v. 48, n. 12, p. 3020-3026, 2024.

HOLLAND, J. et al. Service robots in the healthcare sector. **Robotics**, v. 10, n. 1, p. 47, 11 mar. 2021.

HUANG, H-W. et al. Mobile robotic platform for contactless vital sign monitoring. **Cyborg and Bionic Systems**, v. 2022, ID 9780497, p. 1-11, 2022.

INGIELEWICZ, A. et al. Comparative evaluation of the Manchester Triage System and Emergency Severity Index in predicting critical events in the emergency department. **BMC Emergency Medicine**, v. 25, n. 1, p. 263, 2025.

INTOUCH HEALTH. InTouch Vita: driven to deliver world-class patient care. 2022. Disponível em: <https://intouchhealth.com/telehealth-devices/intouch-vita/>. Acesso em: 20 set. 2022.

JOY-IT. KY-028 Temperature Sensor module (Thermistor). 2017. Disponível em: <http://www.datasheet-pdf.com/PDF/KY-028-Datasheet-Joy-IT-1402039>. Acesso em: 02 out. 2022.

LIAO, Y.-P. et al. Development of an intelligent vital sign monitoring robot system. **International Journal of Artificial Intelligence and Applications (IJIAA)**, v. 14, n. 2, p. 63-83, mar. 2023.

MACKWAY-JONES, K. et al. **Emergency triage: Manchester Triage Group**. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013. 208 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=DZusAQAAQBAJ>. Acesso em: 20 set. 2022.

MANTA, C. et al. An evaluation of biometric monitoring technologies for vital signs in the era of COVID-19. **Clinical and Translational Science**, v. 13, n. 6, p. 1034-1044, 12 out. 2020.

MAXIM INTEGRATED. MAX30100: pulse oximeter and heart-rate sensor IC for wearable health. 2014. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>. Acesso em: 02 out. 2022.

MULTILASER. **Termômetro digital**: manual HC070. São Paulo: Multilaser, [20--]. 1 p.

OMRON HEALTHCARE. **Manual de instruções**: monitor de pressão arterial de pulso automático. São Paulo: Omron Healthcare, 2015. 2 p.

ROJAS-CAMAYO, J. et al. Reference values for oxygen saturation from sea level to the highest human habitation in the Andes in acclimatised persons. **Thorax**, v. 73, n. 8, p. 776-778, 2018.

RUSSELL, K. et al. The use of remote presence robotic tele-presentation in rural and remote Canada: a systematic review. **Telemedicine and e-Health**, v. 30, out. 2024.

SOUZA, V. G. A. et al. Sensorial investigation for automated patient data collection in hospital triage: an exploratory assessment of the literature. **Journal of Bioengineering, Technologies and Health**, v. 7, n. 1, p. 57-62, 2024.

TEMI. Temi. 2021. Disponível em: <https://www.robotemi.com/>. Acesso em: 20 set. 2022.

TENG, R. et al. Use of robots in critical care: systematic review. **Journal of Medical Internet Research**, v. 24, n. 5, e33380, 2022.

YANG, G. Z. et al. Combating COVID-19 — the role of robotics in managing public health and infectious diseases. **Science Robotics**, v. 5, n. 40, eabb5589, 2020.

ZERYNTH. DOIT Esp32 DevKit v1. Disponível em:

https://olddocs.zerynth.com/r2.6.2/official/board.zerynth.doit_esp32/docs/index.html. Acesso em: 02 out. 2022.

Relatórios que falam: sustentabilidade empresarial na formação em engenharia

*Reports that speak: Corporate sustainability in
engineering education*

Gestão Educacional

Ilana Racowski (pro6389@cefsa.edu.br)

*Doutora em Biotecnologia pela Universidade de São Paulo (USP)
e professora da Faculdade Engenheiro Salvador Arena*

Luíza Cristina Sanches (052240008@faculdade.cefsa.edu.br)

*Graduanda em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro
Salvador Arena (FESA).*

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2026

• ISSN 2525-8729

Submissão: 27 out. 2025 Aceitação: 22 maio.2026

Sistema de avaliação: às cegas dupla (double blind review)

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 197 – p. 214

FTT JOURNAL
of Engineering and Business



FACULDADE
ENGENHEIRO
SALVADOR ARENA

Resumo

Este artigo analisa a importância do uso de relatórios de sustentabilidade como ferramenta pedagógica na formação de engenheiros comprometidos com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Destaca-se o papel da Engenharia na promoção de práticas responsáveis e sustentáveis, evidenciando como o contato com relatórios corporativos contribui para o desenvolvimento da consciência socioambiental e para a compreensão prática dos princípios de sustentabilidade. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa quantitativa e descritiva, realizada com 80 estudantes dos cursos de Engenharia de Alimentos e Engenharia de Controle e Automação, por meio de questionário estruturado aplicado via Google Forms. Os dados foram analisados com o auxílio do software SPSS Statistics v.29, utilizando testes Z e qui-quadrado para verificação de significância. Os resultados indicam que o uso de relatórios de sustentabilidade como ferramenta pedagógica na formação de engenheiros, no contexto da educação em Engenharia e da educação para sustentabilidade, favorece a compreensão dos ODS e sua aplicação nas organizações, além de potencializar o aprendizado na disciplina fortalecer a relação entre ensino, educação ambiental e responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Engenharia; Agenda 2030; Relatórios de Sustentabilidade; Educação Ambiental; Educação em Engenharia; Educação para Sustentabilidade.

Abstract

This article analyzes the importance of using sustainability reports as a pedagogical tool in the education of engineers committed to the Sustainable Development Goals (SDGs) of the 2030 Agenda. It highlights the role of engineering in promoting responsible and sustainable practices, demonstrating how exposure to corporate reports contributes to the development of socio-environmental awareness and to a practical understanding of sustainability principles. Methodologically, this is a quantitative and descriptive study conducted with 80 students from Food Engineering and Control and Automation Engineering programs, using a structured questionnaire administered via Google Forms. The data were analyzed using SPSS Statistics v.29, applying Z-tests and Chi-square tests to assess statistical significance. The results indicate that the use of sustainability reports as a pedagogical tool in engineering education, within the context of education for sustainability, enhances the understanding of the SDGs and their application in organizations, while also strengthening learning outcomes and reinforcing the relationship between education, environmental education, and environmental responsibility.

Keywords: Sustainability; Engineering; 2030 Agenda; Sustainability reports; Environmental education; Engineering education; Education for sustainability.

Introdução

A Agenda 2030 é um plano de ação global proposto pela Organização das Nações Unidas (ONU), cujo objetivo é promover o desenvolvimento sustentável por meio da implementação de medidas que garantam a prosperidade do planeta e das pessoas. Estruturada em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas, a Agenda busca ser efetivada até o ano de 2030, promovendo direitos humanos, igualdade de gênero e empoderamento das mulheres, especialmente no âmbito profissional (ONU, 2015).

Os 17 ODS abrangem pilares fundamentais para sua aplicação, principalmente em centros urbanos, e estão organizados em torno de cinco dimensões essenciais: Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parcerias (ONU, 2015).

- Pessoas: garantir qualidade de vida, erradicar a pobreza e assegurar dignidade a todos.
- Planeta: preservar os recursos naturais, respeitar os limites ecológicos e promover um ambiente saudável para esta e futuras gerações.
- Prosperidade: fomentar o desenvolvimento econômico e social em harmonia com a natureza.
- Paz: construir sociedades justas, pacíficas e inclusivas, combatendo todas as formas de violência e discriminação.
- Parcerias: fortalecer a cooperação entre nações, promovendo ações conjuntas em prol da sustentabilidade global.

Nesse contexto, o desenvolvimento sustentável requer a integração equilibrada das dimensões econômica, social e ambiental. No entanto, cada país enfrenta desafios específicos, sendo necessário adaptar as metas da Agenda 2030 às suas realidades locais (ONU, 2015).

A educação, por sua vez, configura-se como um dos principais instrumentos para a concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), pois tem o poder de transformar consciências, promover a equidade e preparar cidadãos para um mundo mais justo e sustentável. Dessa forma, a área da Engenharia e suas tecnologias assume papel estratégico ao formar profissionais capazes de produzir conhecimento e desenvolver soluções tecnológicas para a sociedade, o que impacta diretamente o meio ambiente (Loureiro; Pereira; Pacheco, 2016).

Segundo Loureiro, Pereira e Pacheco (2016), é imprescindível que os engenheiros “projetem tecnologias e atividades econômicas que sustentem em vez de degradarem o ambiente natural e melhorem a saúde e o bem-estar humano”, o que reforça a importância da avaliação contínua promovida pelos relatórios de sustentabilidade.

Um exemplo prático e atual da aplicação desses princípios pode ser observado nas ações da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), a qual adota práticas alinhadas às diretrizes da Global Reporting Initiative (GRI) e integra os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas ao seu modelo de negócios. A empresa destaca o compromisso com o futuro e a resiliência das comunidades onde atua, incorporando metas socioambientais às suas estratégias corporativas (Sabesp, 2024, p. 4-5). Esse tipo de prática evidencia como a atuação técnica, no caso, voltada ao saneamento básico, pode estar alinhada com metas globais de sustentabilidade, sendo um instrumento valioso para análise crítica e formação de engenheiros mais conscientes e responsáveis.

Nesse sentido, os relatórios de sustentabilidade elaborados por empresas, instituições e universidades constituem importantes instrumentos de monitoramento e transparência, pois demonstram de forma objetiva as ações realizadas em prol do desenvolvimento sustentável. Tais documentos possibilitam acompanhar o cumprimento das metas estabelecidas pelos ODS, evidenciando como as práticas corporativas e acadêmicas estão alinhadas com a Agenda 2030. Além disso, ao incluir indicadores ambientais, sociais e econômicos, esses relatórios permitem avaliar os impactos das atividades desenvolvidas e identificar pontos de melhoria, promovendo uma cultura de responsabilidade socioambiental no âmbito da Engenharia e demais áreas tecnológicas. Além disso, esses relatórios, especialmente aqueles elaborados com base nas diretrizes da Global Reporting Initiative (GRI), configuram-se como importantes instrumentos de transparência e prestação de contas, permitindo às organizações comunicar seus impactos e estratégias em relação ao desenvolvimento sustentável (GRI, 2021).

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo destacar a importância do estudo dos relatórios de sustentabilidade na formação dos futuros engenheiros, ressaltando seu papel fundamental para o desenvolvimento de uma consciência socioambiental crítica e proativa. Assim, este estudo parte do seguinte problema de pesquisa: qual é a contribuição dos relatórios de sustentabilidade para o processo de ensino-aprendizagem na formação de futuros engenheiros?

Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa de caráter descritivo, voltada para analisar a percepção de estudantes sobre a aplicação de relatórios de sustentabilidade confeccionados pelas empresas em suas atividades didáticas. Desta forma, foi possível fornecer um resumo claro e conciso dos resultados, onde a abordagem quantitativa permitiu a mensuração objetiva das respostas e a aplicação de testes estatísticos apropriados (Gil, 2008; Marconi; Lakatos, 2017).

Para a aquisição dos dados, foi elaborado e distribuído na plataforma *Googleforms* um questionário estruturado onde seu acesso era realizado por QR Code. O questionário era composto por perguntas fechadas, dos tipos dicotômica (sim/não) e tricotômicas, como também por perguntas abertas possibilitando a análise estatística das preferências e percepções dos respondentes (Booth et al., 2016). As questões abordaram: o contato prévio com relatórios de sustentabilidade, facilidade de acesso aos relatórios, grau de compreensão dos relatórios, contribuição dos relatórios para o entendimento dos ODS e dos conteúdos teóricos da disciplina e relevância e recomendação do uso dos relatórios em outras disciplinas.

A amostra foi composta por 80 estudantes universitários matriculados na disciplina de Ciência do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, ministrada nos cursos de Engenharia de Alimentos e Engenharia de Controle e Automação. Os participantes foram selecionados por conveniência (Marconi; Lakatos, 2017), sendo todos convidados a responder voluntariamente ao questionário ao término da atividade educacional.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas Excel e analisados com o apoio de software estatístico SPSS STATISTIC v. 29. As técnicas utilizadas foram: Teste Z para proporções, que foi aplicado a questões dicotômicas para verificar se a proporção observada difere significativamente da esperada (Triola, 2016), e também o Teste Qui-quadrado de Aderência, que foi aplicado às perguntas com múltiplas categorias (como avaliação da compreensão dos relatórios ou sua contribuição pedagógica), com o objetivo de identificar se a distribuição das respostas diferia da distribuição uniforme ou esperada (Perecin; Costa Neto, 2015). Finalizando essas análises, foi

utilizada a análise *post hoc* com correção de Bonferroni somente quando o teste Qui-quadrado revelou significância estatística ($p < 0,05$) (Field, 2009).

Vale ressaltar que todos os participantes foram informados sobre o caráter voluntário da pesquisa e a garantia de confidencialidade de suas respostas. O questionário foi aplicado de forma anônima e os dados foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, conforme os princípios éticos da pesquisa com seres humanos (Brasil, 2012).

Apesar dos problemas enfrentados pela educação profissional tecnológica, este segmento tem como uma de suas principais tarefas o atendimento de forma ágil e com qualidade às necessidades de mão de obra advindas do mercado de trabalho, trazendo inovação e empreendedorismo para contribuir com o sucesso das organizações (Takahashi e Amorim, 2008). Conforme Souza (2005, p.4): “O sistema de educação profissional precisa estar profundamente vinculado ao mercado de trabalho e à evolução tecnológica”.

Resultados dos testes

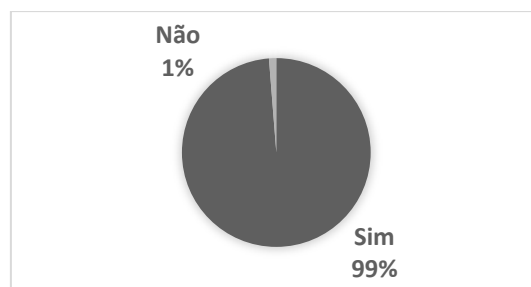
A seguir, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação do questionário sobre o uso de relatórios de sustentabilidade como recurso didático na formação de engenheiros. As análises foram realizadas com base em dados quantitativos, utilizando os testes estatísticos Z e Qui-quadrado, como mencionado na parte da metodologia, complementados pela correção de Bonferroni quando aplicável. Os resultados foram interpretados à luz dos princípios da Agenda 2030 e das reflexões sobre o papel da Engenharia na promoção do desenvolvimento sustentável.

Para que a análise dos resultados fosse considerada válida, estabeleceu-se como premissa que os alunos tivessem tido contato prévio com o relatório de sustentabilidade de alguma empresa, bem como que já tivessem cursado a disciplina de Ciências do Ambiente Sustentável. Essa disciplina, entre diversos conteúdos abordados, busca apresentar aos estudantes as oportunidades que o mercado vem oferecendo para a implementação da Agenda 2030, bem como estratégias para a mitigação dos impactos ambientais frequentemente gerados pelas atividades humanas. De acordo com Azapagic, Perdan e Shallcross (2005), a formação em Engenharia deve incorporar competências

voltadas à sustentabilidade, incluindo a capacidade de avaliar impactos ambientais, sociais e econômicos ao longo do ciclo de vida de produtos e processos.

Dessa forma, dentre os alunos respondentes, observou-se que 99% deles tiveram contato com o material (relatório de sustentabilidade) durante o semestre em que cursaram a disciplina, enquanto apenas 1% declarou não ter tido esse contato, como mostra o Gráfico 1. Isto significa que pelo teste Z, com 95% de confiança, a verdadeira proporção populacional de alunos que tiveram contato com os relatórios situa-se entre 95,56% e 100%, o que demonstra uma alta representatividade da experiência prática entre os respondentes.

Gráfico 1 – Porcentagem de respostas referente à questão: “Você teve contato com os relatórios de sustentabilidade?”



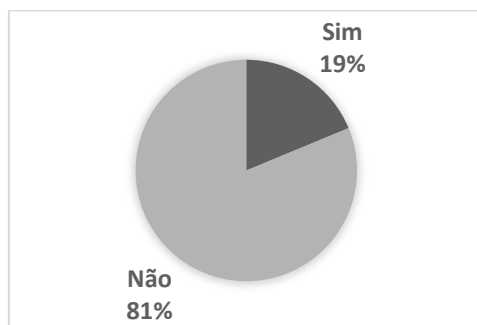
Fonte: elaboração das autoras (2025).

Esse resultado evidencia que a utilização dos relatórios de sustentabilidade esteve amplamente integrada às atividades didáticas, favorecendo a aproximação dos estudantes com documentos reais produzidos por empresas e instituições. Tal prática reforça a importância do ensino baseado em evidências e na aplicação de dados concretos, como apontam Loureiro, Pereira e Pacheco (2016) ao destacarem que o engenheiro contemporâneo deve compreender e projetar tecnologias que sustentem o ambiente natural e promovam o bem-estar humano.

Além disso, a elevada taxa de contato demonstra o comprometimento institucional com o desenvolvimento de competências socioambientais, conforme defendido pela Agenda 2030 da ONU (2015). Ao inserir relatórios de sustentabilidade como instrumentos pedagógicos, a disciplina contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados à educação de qualidade (ODS 4).

Vale salientar que a maioria dos participantes (81%) afirmou não ter tido dificuldade para achar e acessar os relatórios de sustentabilidade, enquanto uma parcela menor encontrou algum tipo de obstáculo, como apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Porcentagem de respostas referentes à questão: “Você teve dificuldade em achar os relatórios de sustentabilidade?”



Fonte: elaboração dos autores (2025).

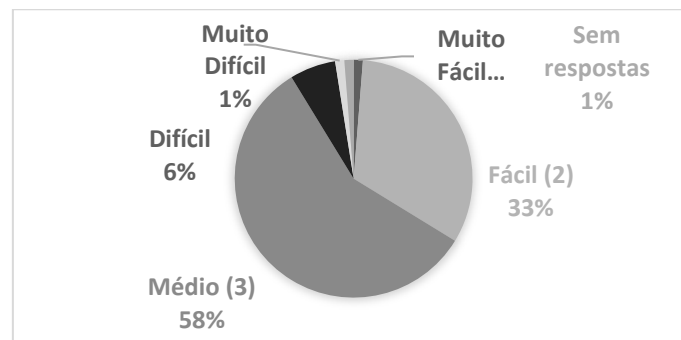
Assim sendo, pode-se dizer que os relatórios são documentos facilmente acessíveis e que, quando elaborados, podem ser “baixados” do próprio site que a empresa possui, o que contribui para a efetividade da atividade pedagógica à medida que os estudantes desenvolvem autonomia na busca e interpretação de dados nele contido.

Além disso, tal achado reforça a importância de se integrar recursos digitais e fontes públicas de informação no processo de ensino-aprendizagem, ampliando a alfabetização científica e ambiental no contexto da formação em Engenharia, além de se familiarizarem com documentos de sustentabilidade corporativa, fortalecendo o vínculo entre educação, tecnologia e responsabilidade socioambiental (LOUREIRO; PEREIRA; PACHECO, 2016; ONU, 2015).

No que diz respeito à compreensão desses materiais (Gráfico 3), o teste Qui-quadrado revelou evidência estatisticamente significativa de que as respostas não estão distribuídas uniformemente ($p < 0,05$), indicando tendência de avaliação desbalanceada, especialmente na categoria “Médio”. Após o ajuste conservador de Bonferroni, observou-se que a categoria “Médio” se destacou fortemente ($Z = +7,60$; p não ajustado $< 0,00001$; p ajustado $< 0,00005$), sendo muito mais frequente que o esperado. As categorias “Muito fácil” ($Z = -3,73$; p não ajustado $\sim 0,0002$; p ajustado $0,0010$) e “Muito difícil” ($Z = -3,73$; p não ajustado $\sim 0,0002$; p ajustado $0,0010$) tiveram baixas ocorrências, enquanto a categoria “Difícil” ($Z = -2,72$; p não ajustado $\sim 0,0065$; p ajustado $0,032$) apresentou

frequência reduzida. A categoria “Fácil” teve diferença limítrofe ($Z = +2,57$; p não ajustado $\sim 0,0102$; p ajustado $0,051$), não sendo significativa após a correção de Bonferroni. Esses resultados confirmam que a percepção predominante dos alunos sobre a clareza dos relatórios é intermediária, com apenas uma minoria considerando-os muito fáceis ou muito difíceis, reforçando o fato de que os relatórios são compreensíveis para a maioria, mas ainda apresentam margem para aprimoramento.

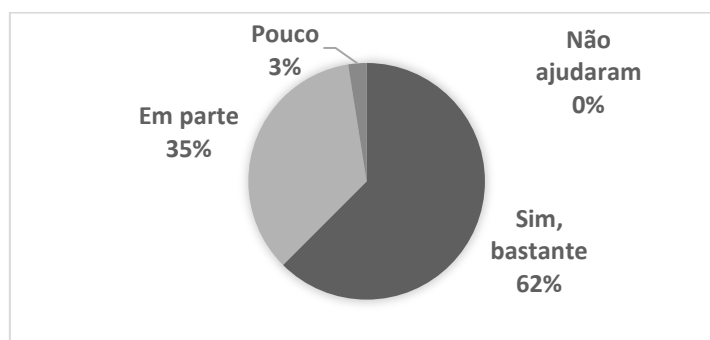
Gráfico 3 – Porcentagem de respostas referente à questão: “Como você avaliaria a facilidade de compreensão dos relatórios de sustentabilidade utilizados em aula?”



Fonte: elaboração dos autores (2025).

Em se tratando do fato da compreensão, através dos relatórios de sustentabilidade, da forma como as organizações vem implementando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) na prática, o teste Qui-quadrado evidenciou que as respostas não estavam distribuídas uniformemente ($p < 0,05$), confirmando que as avaliações dos alunos foram desbalanceadas entre as categorias (gráfico 4). Após a aplicação do ajuste conservador de Bonferroni, observou-se que a categoria “Sim, bastante” (p ajustado $< 0,000004$) foi significativamente mais frequente do que o esperado, enquanto as categorias “Pouco” (p ajustado $\approx 0,000228$) e “Não ajudaram” (p ajustado $\approx 0,000028$) foram significativamente menos frequentes. A categoria “Em parte” (p ajustado $\approx 0,2936$) não apresentou diferença significativa em relação a uma distribuição uniforme. Dessa forma, conclui-se que a percepção predominante dos alunos é altamente positiva, com a maioria avaliando os relatórios como eficazes para entender a aplicação prática dos ODS.

Gráfico 4 - Porcentagem de respostas referente à questão: “Os relatórios o ajudaram a entender como os ODS são aplicados na prática pelas organizações?”

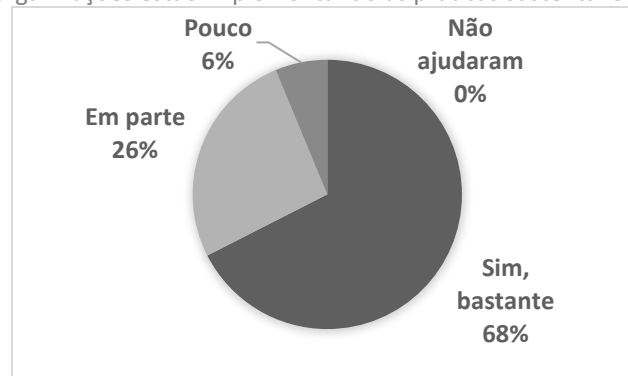


Fonte: elaboração dos autores (2025).

Deve-se salientar que, apesar de os alunos identificarem a implementação dos ODS, que na maioria das vezes vem alocado no relatório de sustentabilidade, perto da descrição do projeto ou em uma das colunas do relatório parcial do GRI (Global Reporting Initiative), geralmente situado ao final do relatório de sustentabilidade ou do relatório integrado da empresa, as práticas voltadas ao desenvolvimento sustentável por elas aplicadas não estão explícitas na figura ou descrição do ODS, nem mesmo nas sucintas respostas do GRI. Exatamente por esse motivo, um dos questionamentos feito aos alunos era se os relatórios ajudaram a entender como as organizações estão implementando as práticas sustentáveis, o qual pretendia avaliar a compreensão dos alunos em relação às implementações das práticas sustentáveis nas empresas e organizações corporativas.

Para isso, o gráfico 5 apresenta a distribuição percentual das respostas referentes à percepção dos estudantes sobre a contribuição dos relatórios de sustentabilidade no entendimento das práticas sustentáveis adotadas pelas organizações. Desta forma, observa-se que 68% dos participantes afirmaram “Sim, bastante”, indicando que os relatórios foram considerados eficazes para compreender como as empresas implementam ações alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e, conseqüentemente, à sustentabilidade, já que a Agenda 2030 está voltada ao desenvolvimento sustentável. Uma parcela de 26% respondeu “Em parte”, demonstrando percepção intermediária quanto à contribuição dos relatórios, enquanto apenas 6% indicaram “Pouco” e nenhum estudante selecionou a opção “Não ajudaram”.

Gráfico 5 – Porcentagem de respostas referente à questão: “Os relatórios o ajudaram a entender como as organizações estão implementando as práticas sustentáveis?”

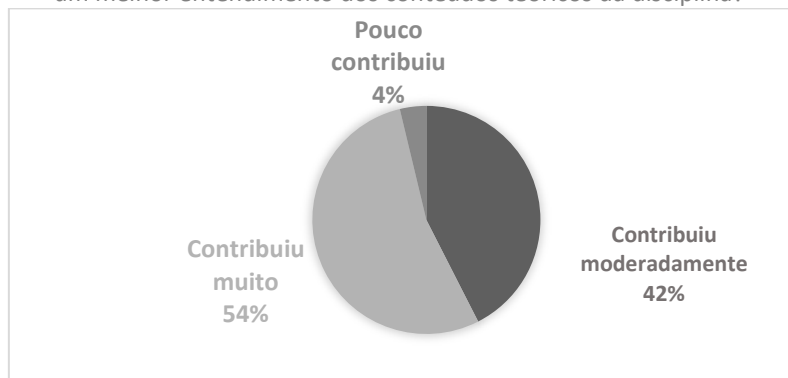


Fonte: elaboração dos autores (2025).

Estatisticamente, em relação a estes resultados, pode-se dizer que o teste Qui-quadrado revelou que as respostas não se distribuíram uniformemente ($p < 0,05$), o que confirma a predominância da categoria “Sim, bastante” em relação às demais. A análise *post hoc* com correção de Bonferroni evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as categorias “Sim, bastante”, “Em parte” e “Pouco”, com exceção das categorias “Pouco” e “Não ajudaram”, que não apresentaram diferença significativa entre si ($p > 0,05$). Assim, infere-se que os relatórios de sustentabilidade exerceram papel pedagógico relevante, favorecendo a compreensão prática das estratégias corporativas voltadas à sustentabilidade. Essa percepção positiva reforça a função educativa dos relatórios corporativos, que, ao apresentarem dados reais e mensuráveis, permitem que os estudantes analisem indicadores ambientais, sociais e econômicos sob uma perspectiva técnica e contextualizada (Loureiro; Pereira; Pacheco, 2016).

Corroborando todas as análises acima, o estudo permitiu identificar como ocorrem as práticas organizacionais voltadas à Agenda 2030, mas também através dos resultados demonstrados no gráfico 6, como os alunos assimilam os resultados apresentados pela empresa e conseguem interpretar as teorias envolvendo o desenvolvimento sustentável.

Gráfico 6 - Porcentagem de respostas referentes à questão: “O uso dos relatórios de sustentabilidade contribuiu para um melhor entendimento dos conteúdos teóricos da disciplina?”



Fonte: elaboração dos autores (2025).

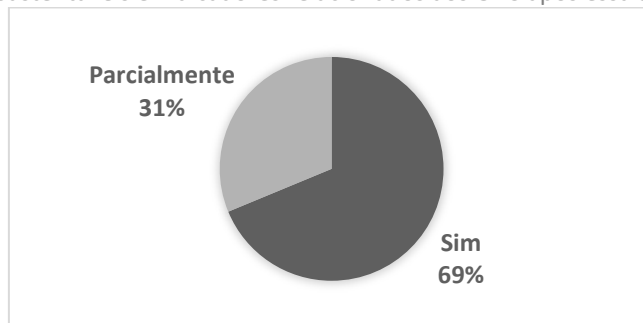
Em relação aos resultados, observa-se que a maioria dos participantes considerou que os relatórios contribuíram significativamente, com predomínio das respostas “Contribuiu muito” e “Contribuiu moderadamente”, enquanto apenas uma pequena parcela indicou “Pouco contribuiu” e nenhuma respondeu “Não contribuiu”. O teste Qui-quadrado revelou que as respostas não se distribuíram uniformemente ($p < 0,05$), evidenciando diferenças significativas entre as categorias. A análise *post hoc* com correção de Bonferroni demonstrou que as categorias “Contribuiu muito” e “Contribuiu moderadamente” não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,0083$), mas ambas apresentaram diferenças significativas quando comparadas às categorias “Pouco contribuiu” e “Não contribuiu” ($p < 0,001$). Por sua vez, as categorias “Pouco contribuiu” e “Não contribuiu” também não apresentaram diferenças significativas entre si ($p > 0,0083$).

A educação para o desenvolvimento sustentável tem sido amplamente reconhecida como um elemento essencial na formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de atuar frente aos desafios socioambientais contemporâneos (Unesco, 2017). Nesse sentido, a integração da sustentabilidade no ensino de Engenharia torna-se fundamental, uma vez que esses profissionais desempenham papel estratégico no desenvolvimento de soluções tecnológicas alinhadas aos princípios do desenvolvimento sustentável.

Esses resultados indicam que a percepção dos alunos que afirmaram que os relatórios contribuíram muito ou moderadamente para a compreensão dos conteúdos teóricos é significativamente superior à percepção daqueles que consideraram que os relatórios pouco contribuíram ou não contribuíram, reforçando a eficácia desse recurso como instrumento pedagógico que integra teoria e prática no processo de aprendizagem.

O gráfico 7 apresenta a percepção dos participantes sobre seu preparo para identificar e analisar práticas sustentáveis e indicadores relacionados aos ODS após a realização da atividade. Observa-se que a maioria (69%) respondeu “Sim”, indicando que se sente preparada, enquanto 31% responderam “Parcialmente” e nenhum participante respondeu “Não”.

Gráfico 7 - Porcentagem de respostas referentes à questão: “Você se sente mais preparado para identificar e analisar práticas sustentáveis e indicadores relacionados aos ODS após essa atividade?”

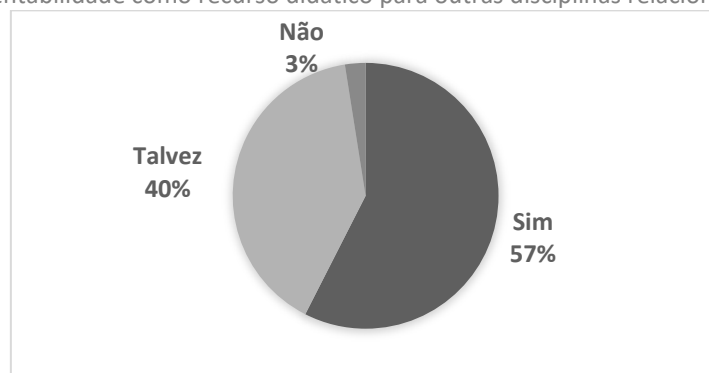


Fonte: elaboração dos autores (2025).

O teste Qui-quadrado revelou diferença significativa entre as respostas ($\chi^2 (2) = 33,75$; $p < 0,001$), indicando que a distribuição das percepções não ocorreu de forma uniforme. O teste *post hoc* com correção de Bonferroni confirmou que os participantes que se sentiram preparados (“Sim”) diferem significativamente daqueles que se sentiram apenas parcialmente preparados (“Parcialmente”) e daqueles que não se sentiram preparados (“Não”). Também há diferença significativa entre os grupos “Parcialmente” e “Não”, embora no gráfico o grupo “Não” seja nulo. Os resultados indicam que a atividade contribuiu significativamente para aumentar a confiança e o preparo dos alunos na identificação e análise de práticas sustentáveis e indicadores relacionados aos ODS, evidenciando sua eficácia como recurso pedagógico na integração entre teoria e prática. Como consequência, os alunos também perceberam a relevância e a aplicabilidade dos relatórios de sustentabilidade como ferramenta didática em outras disciplinas da grade curricular.

Os resultados, demonstrados pelo gráfico 8, indicam que a atividade contribuiu significativamente para aumentar a confiança e o preparo dos alunos na identificação e análise de práticas sustentáveis e indicadores relacionados aos ODS, evidenciando sua eficácia como recurso pedagógico na integração entre teoria e prática. A análise do gráfico mostra que a maioria dos participantes recomendaria o uso dos relatórios de sustentabilidade como recurso didático em outras disciplinas, com 57% respondendo “Sim” e 40% respondendo “Talvez”. Apenas 3% dos alunos não recomendariam o uso.

Gráfico 8 – Porcentagem de respostas referentes à questão: “Você recomendaria o uso de relatórios de sustentabilidade como recurso didático para outras disciplinas relacionadas?”



Fonte: elaboração dos autores (2025).

O teste Qui-quadrado confirmou que houve diferença estatisticamente significativa entre as categorias de resposta ($\chi^2 (2) = 38,1$; $p < 0,001$). A análise *post hoc* com correção de Bonferroni revelou diferenças significativas entre os grupos “Sim” e “Não”, e entre “Talvez” e “Não” ($p < 0,0167$), enquanto não houve diferença significativa entre “Sim” e “Talvez”. Esses resultados reforçam que a maioria dos alunos reconhece a relevância e aplicabilidade dos relatórios de sustentabilidade como ferramenta didática, podendo ser incorporados em outras disciplinas da grade curricular.

Para complementar a análise quantitativa, o questionário também incluiu questões abertas, permitindo aos alunos expressarem, com suas próprias palavras, percepções e reflexões sobre a utilização dos relatórios de sustentabilidade como recurso pedagógico. A análise das respostas abertas permite aprofundar a compreensão sobre a percepção dos alunos em relação à utilidade dos relatórios de sustentabilidade. Na pergunta: “Em sua opinião, qual a importância de estudar relatórios de sustentabilidade para a formação em sustentabilidade e meio ambiente?”, os estudantes expressaram, com suas próprias palavras, a relevância do tema para sua formação acadêmica e futura atuação profissional. Alguns desses alunos enfatizaram que esse estudo contribui para “identificar os ODS, que são fortes no ramo estudado”, e “visualizar a aplicação prática desses conceitos no dia a dia”, preparando-os para avaliar e cobrar ações reais de sustentabilidade. Outros apontaram que os relatórios funcionam como exemplos concretos, possibilitando analisar processos empresariais, coletar dados, comparar práticas e refletir sobre melhorias e inovações. Muitos comentaram que esse estudo é fundamental para “entender como funcionam as empresas, a implementação dos ODS e as questões relacionadas ao meio ambiente”, o que serve para preparar os alunos para avaliar e cobrar ações reais de sustentabilidade no futuro.

Outros ressaltaram que os relatórios ajudam a “identificar e saber como estão sendo feitas as implementações dos ODS” e oferecem oportunidades de “coletar dados, analisar, comparar e avaliar futuras alterações e melhorias”.

Os depoimentos também evidenciam a importância do contato prévio com esse tipo de documento, destacando que ele proporciona ideias e “ensina a analisar projetos de maneira crítica”, além de ampliar a compreensão sobre as metodologias sustentáveis aplicadas em diferentes setores. Um aluno observou que os relatórios são importantes “para conseguir diferenciar a importância e o peso de cada projeto nas ODS e entender como as ações de empresas impactam o meio ambiente”, enquanto outro afirmou que “estudar esses relatórios é aprender de forma prática o quanto a sustentabilidade está presente nas indústrias atualmente”.

Além disso, os relatos ressaltam que os relatórios contribuem para a formação de profissionais conscientes e preparados; eles permitem “entender a importância da análise ambiental em uma empresa”, “conectar os aprendizados de sala de aula com a indústria” e “compreender melhor a matéria e a realidade corporativa”. Os alunos também perceberam que os documentos ajudam a “garantir mais credibilidade e certeza nas informações apresentadas pelas empresas” e a “visualizar os caminhos em que as empresas estão buscando se tornar cada vez mais sustentáveis, ajudando o meio ambiente”.

Ademais, as perguntas abertas investigaram quais aspectos os alunos conseguem compreender para a aplicação de projetos sustentáveis a partir dos relatórios de sustentabilidade. Para isso, foi perguntado aos estudantes: “Quais aspectos dos relatórios foram mais úteis para você entender os projetos voltados à sustentabilidade?”, que evidencia a percepção dos alunos sobre os elementos mais significativos para se compreender a aplicação prática das ODS e das estratégias sustentáveis nas empresas. De forma consistente, os estudantes destacaram a importância da descrição detalhada de cada projeto, incluindo a relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como um dos principais fatores que facilitaram o entendimento. Um aluno comentou que “a descrição detalhada de cada projeto com os ODS correspondentes” foi essencial, enquanto outro ressaltou que “todos, pois, como estava separado por partes, a forma de se achar estava bem apropriada para um ensino claro”.

Além disso, os exemplos práticos das empresas foram frequentemente mencionados, permitindo visualizar a aplicação real das metas de sustentabilidade. Um aluno observou que os relatórios mostravam “como são implementadas os ODS e como as empresas reutilizam os resíduos que são gerados pelo produto final”, enquanto outro destacou a reutilização de resíduos: “Com a ajuda do relatório, pudemos analisar para onde eles iriam e o que agregam às comunidades, de uma forma bem interessante”. A apresentação didática, com gráficos, textos objetivos e imagens, também foi apontada como facilitadora do aprendizado, possibilitando compreender “os aspectos referentes à apresentação de projetos implantados com a intenção de melhorar a sustentabilidade nas empresas, nos mostrando as soluções encontradas para a aplicação dos ODS”.

Os indicadores e as métricas de desempenho foram igualmente valorizados. Os alunos ressaltaram a relevância de observar “os indicadores ambientais, sociais e econômicos, o diagnóstico inicial, as ações implementadas, o cumprimento de legislações e certificações, além do cronograma de acompanhamento e a participação das partes interessadas”, considerando que esses elementos auxiliam a avaliar a efetividade e o impacto dos projetos. A conexão entre metas, ODS e governança corporativa também foi mencionada como ponto-chave, com um estudante afirmando que “o que mais ajudou foi o modelo de governança de cada empresa, mostrando como as empresas são administradas quando o assunto é sustentabilidade”.

Outros aspectos apontados incluíram o uso de tabelas, fluxogramas e gráficos, que possibilitam a visualização clara das ações e resultados, e a credibilidade do relatório, que transmite segurança sobre a veracidade das informações apresentadas pelas empresas. Um aluno destacou que “a tabela feita no Excel me ajudou bastante a entender o projeto, pois demonstrava de forma clara como funcionam os projetos sustentáveis e como são aplicados”.

De maneira geral, as respostas indicam que os alunos percebem os relatórios de sustentabilidade como instrumentos completos, que combinam descrição de projetos, indicadores, evidências visuais e alinhamento com ODS, facilitando a compreensão prática da sustentabilidade corporativa. Como observou um dos participantes, os relatórios permitem “entender os projetos voltados à sustentabilidade, a apresentação de dados, a estratégia utilizada e as pesquisas para compreender os aspectos apresentados”, mostrando que tais documentos são fundamentais para o aprendizado aplicado e a formação de profissionais conscientes e preparados para atuar de forma responsável nos setores industrial e ambiental.

Considerações finais

Os resultados apresentados neste estudo evidenciam que o uso de relatórios de sustentabilidade como recurso pedagógico exerce papel fundamental na formação de engenheiros conscientes e preparados para atuar de maneira responsável e alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. A análise quantitativa demonstrou que a grande maioria dos estudantes teve contato efetivo com os relatórios, compreendeu seu conteúdo de forma satisfatória e percebeu a aplicabilidade prática das informações disponibilizadas, reforçando a integração entre teoria e prática no processo de aprendizagem (Loureiro; Pereira; Pacheco, 2016; ONU, 2015).

Os depoimentos e respostas abertas dos participantes destacaram a relevância da descrição detalhada de projetos, da apresentação de indicadores e métricas de desempenho, bem como do alinhamento com os ODS, como elementos que facilitaram a compreensão e análise crítica das práticas sustentáveis adotadas pelas organizações. Além disso, a facilidade de acesso aos relatórios e a clareza de sua estruturação contribuíram para o desenvolvimento de habilidades analíticas e reflexivas, essenciais à formação de profissionais capazes de propor soluções tecnológicas e sustentáveis (Sabesp, 2024).

Dessa forma, o estudo corrobora que a inclusão de relatórios corporativos na formação acadêmica não apenas fortalece a consciência socioambiental dos futuros engenheiros, como também promove a capacidade de avaliação crítica de processos organizacionais, incentivando a implementação de práticas de sustentabilidade em diferentes setores industriais. Recomenda-se, portanto, que essa abordagem seja incorporada de maneira sistemática em disciplinas relacionadas à sustentabilidade, ampliando o potencial de aprendizado aplicado e consolidando a educação ambiental como componente estratégico na formação técnica e profissional de futuros engenheiros (Gil, 2008; Marconi; Lakatos, 2017).

Em síntese, os relatórios de sustentabilidade se configuram como instrumentos pedagógicos completos e eficazes, capazes de articular conhecimento teórico, prática aplicada e responsabilidade socioambiental, contribuindo significativamente para a formação de engenheiros alinhados aos desafios globais de desenvolvimento sustentável.

Referências

- AZAPAGIC, Adisa; PERDAN, Slobodan; SHALLCROSS, David. How much do engineering students know about sustainable development? The findings of an international survey and possible implications for the engineering curriculum. **European Journal of Engineering Education**, v. 30, n. 1, p. 1-19, 2005.
- BOOTH, W. C.; COLOMB, G. G.; WILLIAMS, J. M. **A arte da pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2016.
- BRASIL. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Dispõe sobre diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Brasília, DF: Conselho Nacional de Saúde, 2012.
- DIEHL, C. A.; SOUZA, M. A.; DOMINGOS, L. E. C. O uso da estatística descritiva na pesquisa em custos: análise do XIV Congresso Brasileiro de Custos. **ConTexto**, Porto Alegre, v. 7, n. 12, p. 1-22, 2007. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ConTexto/article/download/11157/6605.html>. Acesso em: 12 ago. 2025.
- FONT, X.; GUIX, M.; BONILLA-PRIEGO, M. J. Corporate social responsibility in tourism small and medium enterprises: importance and drivers for responsible behavior. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 308-318, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.05.072.
- FERREIRA-QUILICE, C.; CALDANA, C. Aspectos negativos no modelo de reporte proposto pela GRI: a percepção dos funcionários. **Revista de Administração da USP**, São Paulo, v. 50, n. 4, p. 463-476, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rausp/a/NNk3SsBG7LkyMRbCwx5yN3c/>. Acesso em: 14 ago. 2025.
- GLOBAL REPORTING INITIATIVE (GRI). **Consolidated set of the GRI Sustainability Reporting Standards 2021**. Amsterdam: GRI, 2021. Disponível em: <https://www.globalreporting.org>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- LOUREIRO, S. M.; PEREIRA, V. L. D. V.; PACHECO JUNIOR, W. A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável na educação em engenharia. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 306-324, jan./abr. 2016. DOI: 10.5902/2236117019818. Disponível em: <https://core.ac.uk/display/231163174>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- ONU. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Resolução A/RES/70/1. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://www.agenda2030.org.br>. Acesso em: 27 jun. 2025.
- SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. São Paulo: Sabesp, 2024. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios_sustentabilidade/relatorio_sustentabilidade_2023.pdf. Acesso em: 27 jun. 2025.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Education for sustainable development goals: learning objectives**. Paris: UNESCO, 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org>. Acesso em: 15 jun. 2026.