



# 10ª EDIÇÃO REVISTA CIENTÍFICA

FTT JOURNAL  
*of Engineering and Business*



✉ [journal@ftt.com.br](mailto:journal@ftt.com.br)

🌐 [www.sajournal.cefsa.org.br](http://www.sajournal.cefsa.org.br)



**FUNDAÇÃO SALVADOR ARENA**  
**ENTIDADE MANTENEDORA**

Conselho Curador  
**Presidente: Regina Celi Venâncio**  
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 ENGENHEIRO SALVADOR ARENA**

**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: Luciana Guimarães Naves Lemos Borges  
Pesquisa e Extensão: Diogo Martins Gonçalves de Moraes

FTT Journal of Engineering and Business	São Bernardo do Campo	v. 1	n. 10	p. 135	Jun. 2025
---	--------------------------	------	-------	--------	-----------

**CONTATO**

Faculdade Engenheiro Salvador Arena  
E-mail: [journal@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:journal@faculdade.cefsa.edu.br)

**EDITOR ACADÊMICO**

Prof. Dr. Fernando Felício Pachi Filho

**COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL**

Simone dos Santos Farias

**APOIO EDITORIAL**

Aila Renata Okada Goulart  
Carla Fernanda Ribeiro de Alencar Vieira  
Kátia Alves Aquino Guariso  
Luciane Alves  
Milena Medeiros de Andrade  
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

Profa. Dra. Ângela Sanches Rocha (Universidade Federal do Rio de Janeiro)  
Prof. Dr. Alison Martins Meurer (Universidade Federal do Paraná)  
Me. André Luiz Barbosa Marinho (Universidade Federal de Santa Catarina)  
Prof. Me. André Araújo de Moraes (Unitau)  
Me. André Augusto Bortoli (Instituto Federal do Paraná)  
Profa. Ma. Bárbara do Nascimento Alves (Faculdade Maurício de Nassau)  
Prof. Dr. Bruno Eduardo Slongo Garcia (uniBrasil)  
Prof. Me. Bruno Marini (Universidade Federal de Mato Grosso do Sul)  
Profa. Dra. Caroline Maria Caliarri Universidade Federal Tecnológica do Paraná)  
Prof. Me. Cícero Philip Soares do Nascimento (Universidade Estadual Vale do Acaraú)  
Profa. Dra. Cláudia Ferreira Mazzoni (universidade Federal de Pernambuco)  
Me. Cláudio Filipe Lima Rapôso (Universidad Autónoma de Assunción)  
Prof. Dr. Claudir Oliveira (universidade Federal do Oeste do Pará)  
Me. Daiana Rafaela Pedersini (Universidade Federal de Santa Catarina)  
Me. Daniel Matos Rodrigues (Instituto Educacional Alfaunipac)  
Dr. Eduardo dos Santos Funcia (Universidade de São Paulo)  
Prof. Dr. Eduardo Silva Vasconcelos (Instituto Federal Goiano)  
Prof. Me. Elender Keuly de Souza (Universidade Federal do Amapá)  
Prof. Dr. Eugênio da Piedade Edmundo Siteo (Universidade Estadual de Campinas)  
Profa. Dra. Gabrieli Oliveira-Folador (Universidade Federal de Rondônia)  
Dr. Iury Sevilha Gosling (universidade Federal de Minas Gerais)  
Profa. Dra. Jacqueline Mayumi Akazaki (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)  
Prof. Dr. Jonatas Dutra Sallaberry (Universidade do Contestado)  
Profa. Dra. Luciane Pereira Viana (universidade Feevale)  
Profa. Ma. M<sup>te</sup>. Maria Natália Castanho (Universidade Federal de São Carlos).Mato Grosso)  
Profa. Dra. Michele Barth (Universidade Feevale)  
Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula (Universidade Federal Tecnológica do Paraná)  
Prof. Dr. Renato Eliseu Costa (Universidade de São Paulo)

# Sumário

## 6 Editorial

### Administração

## 8 *Adaptação social e existência humana: uma leitura filosófica de 'Os Croods' e o 'Mito da caverna'*

*Manoel Garcia Neto*

*Ana Beatriz Marchetto Santos*

*Vanessa Rodrigues Nascimento*

### Engenharia de Alimentos

## 22 *Estudo das pectinas provenientes dos diferentes coprodutos da produção de suco de laranja pera (Citrus sinensisL.)*

*Marco Antonio Conti Carlotti Filho*

*Fernanda Silvestri Pires*

*Maria Luíza Pequeno Cláudio*

*Mariana Pinheiro da Silva*

*Tamires Feitosa de Abreu Silva*

## 39 *Estudo de eficácia do processo de higienização da couve utilizando UV, ozônio e solução clorada*

*Ilana Racowski*

*Camila Saldanha Santos*

*Daiane Rodrigues Dantas*

*Larissa de Melo Marques*

*Sofia Arantes de Oliveira*

### Engenharia de Computação

## 56 *Digital twins: estratégias para redução de tempo de resposta utilizando computação em borda*

*Fábio Henrique Cabrini*

*Caio Rodrigues Fernandes Santos*

*Carlos Eduardo Vieira Santos*

*Guilherme Dias Lima Turtera*

*Nathan Vilela de Souza*

76

***CartNinja: solução integrada entre IoT, serverless e computação em nuvem para auxiliar na redução do desperdício residencial***

*Gabriel Lara Baptista*

*Caio Ruiz*

*Victor Assagra*

*Thales Feliciano Baracho*

*Fernando Zanardi Lopes*

## **Engenharia de Controle e Automação**

96

***Redes Neurais: transformando um smart campus por meio do monitoramento de pessoas com e sem mobilidade reduzida***

*Victor Inácio de Oliveira*

*Ricardo Janes*

*Rogério Issamu Yamamoto*

*Nilson Yukihiro Tamashiro*

*Bruno Luis Soares de Lima*

*Matheus Santana Ferreira*

## **Gestão Educacional**

118

***Fatores críticos de sucesso na implantação da metodologia CDIO: o caso de uma faculdade de tecnologia***

*Valter João de Souza*

*Roque Antonio de Moura*

*Messias Borges Silva*

## *Editorial*

A FTT Journal of Engineering and Business chega a sua 10ª edição, fato que muito nos orgulha. Ao longo destes anos, publicamos 60 artigos científicos, avaliados por cerca de 140 pareceristas, que colaboraram decisivamente para a manutenção da qualidade da publicação. Temos certeza de que contribuímos para divulgar trabalhos de pesquisadores da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e de outras instituições de ensino nacionais. E este trabalho continua nesta edição com mais 7 artigos que apresentamos agora aos nossos leitores.

A resistência humana e a busca pelo conhecimento são tema da investigação de Ana Beatriz Marchetto Santos, Vanessa Rodrigues Nascimento e Manoel Garcia Neto. No artigo *Adaptação social e existência humana: uma leitura filosófica de 'Os Croods' e o 'Mito da Caverna'*, publicado na seção de Administração, os autores realizam uma pesquisa bibliográfica considerando o pensamento filosófico para demonstrar como a adaptabilidade social é um competência vital para o crescimento individual e coletivo, permitindo maior integração e o desenvolvimento da consciência crítica no convívio social.

Na seção de Engenharia de Alimentos, Ilana Racowski, Camila Saldanha Santos, Daiane Rodrigues Dantas, Larissa de Melo Marques, Sofia Arantes de Oliveira avaliam e comparam a eficácia de dois métodos de sanitização alternativos — água ozonizada e radiação ultravioleta (UV) — em relação ao método convencional com solução de hipoclorito de sódio, aplicados em folhas de couve-manteiga. Os resultados demonstraram que os tratamentos apresentaram eficácias distintas frente aos diferentes grupos microbianos analisados. Para as bactérias mesófilas totais, os métodos com água ozonizada e luz UV mostraram maior efetividade, promovendo reduções próximas a 2 ciclos logarítmicos na carga microbiana. Em contraste, no caso de bolores e leveduras, apenas o tratamento com água ozonizada apresentou resultado significativo, com redução de aproximadamente 1,2 ciclos logarítmicos.

Marco Antonio Conti Carlotti Filho, Fernanda Silvestri Pires, Maria Luíza Pequeno Cláudio, Mariana Pinheiro da Silva, Tamires Feitosa de Abreu Silva avaliam o rendimento e a textura de géis preparados com pectina extraída de partes da laranja pera (*Citrus sinensis* L.): albedo, casca e bagaço. O bagaço destacou-se como fonte promissora, com rendimento superior ao albedo (cerca de duas vezes superior) e ligeiras diferenças nos atributos de textura e sabor.

Abrindo a seção de Engenharia de Computação, o artigo *CartNinja: solução integrada entre IoT, serverless e computação em nuvem para auxiliar na redução do desperdício residencial*, de Caio Ruiz, Fernando Zanardi Lopes, Thales Feliciano Baracho, Victor Assagra e Gabriel Lara Baptista, apresenta uma solução que faz uso da tecnologia IoT, serverless e computação em nuvem, juntamente com um aplicativo móvel e um hardware dedicado com Raspberry Pi 3B+, para criar um ambiente facilitado de gerenciamento de lista de compras com objetivo de reduzir o desperdício de alimentos.

Fábio Henrique Cabrini, Caio Rodrigues Fernandes Santos, Carlos Eduardo Vieira Santos, Guilherme Dias Lima Turtera, Nathan Vilela de Souza, Investigam estratégias para reduzir o tempo de resposta na arquitetura de comunicação de uma prova de conceito de gêmeos digitais, desenvolvida para sincronizar um braço robótico com sua versão virtual. Foram implementadas duas modificações: a reformulação do fluxo de comunicação entre os gêmeos, reduzindo atrasos na transmissão, e a realocação do servidor da nuvem para a borda da rede. Os resultados indicaram que a arquitetura baseada em borda proporciona tempos de resposta significativamente mais rápidos, demonstrando o impacto positivo da localização do servidor na eficiência do sistema.

Na seção de Engenharia de Controle e Automação, Victor Inácio de Oliveira, Ricardo Janes, Rogério Issamu Yamamoto, Nilson Yukiohiro Tamashiro, Bruno Luís Soares de Lima e Matheus Santana apresentam um sistema de monitoramento capaz de identificar pessoas com e sem mobilidade reduzida, destacando aquelas que utilizam dispositivos para auxiliar na movimentação como cadeira de rodas e muletas, gerando um mapa de calor que auxilia no entendimento do fluxo de pessoas dentro do campus de uma universidade. Toda a etapa de aprendizado foi executada em ambiente do *google colab* e, posteriormente, o processamento foi realizado por um Raspberry Pi 4 e uma câmera HD. Os resultados demonstraram que o modelo utilizado foi capaz de detectar todas as classes com indicadores satisfatórios de desempenho, gerando mapas de calor e possibilitando o envio de notificações, caso pessoas com mobilidade reduzida necessitassem de auxílio para se locomover no campus.

É sabido que na área da educação a necessidade de adoção de metodologias que atendam ao novo perfil de estudante e que se utilizem de tecnologias emergentes é um desafio que se impõe. Nesse sentido, na seção de Gestão Educacional, Valter João de Souza, Roque Antônio de Moura e Messias Borges da Silva analisam o processo de implementação da metodologia CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate). Por meio de um estudo de caso, os autores identificam os fatores críticos de sucesso para a implementação dessa metodologia no que se refere a instituições, docentes e alunos.

# Adaptação social e existência humana: uma leitura filosófica de 'Os Croods' e o 'Mito da caverna'

*Social adaptation and human existence: a philosophical  
reading of 'The Croods' and 'The Myth of the Cave'*

## Administração

**Manoel Garcia Neto** ([pro10935@cefsa.edu.br](mailto:pro10935@cefsa.edu.br))

Mestre em Administração pelo Centro Universitário FEI e professor da  
Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Ana Beatriz Marchetto Santos** ([072220003@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:072220003@faculdade.cefsa.edu.br))

Graduanda em Administração pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Vanessa Rodrigues Nascimento** ([l072220021@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:l072220021@faculdade.cefsa.edu.br))

Graduanda em Administração pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025

• ISSN 2525-8729

Submissão: 13 dez. 2023 Aceitação: 28 maio.2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 8 - 21

FTT JOURNAL  
*of Engineering and Business*



FACULDADE  
ENGENHEIRO  
SALVADOR ARENA

## Resumo

A capacidade de se adaptar a novas situações e interagir harmoniosamente com os outros é uma habilidade crucial para o êxito social e emocional dos indivíduos, especialmente em contextos de constante transformação. Ao longo da História, filósofos têm explorado os fundamentos dessa reação, buscando compreender sua importância e desenvolver conceitos que nos ajudem a refletir melhor esse aspecto essencial da experiência humana. Este artigo analisa a importância da adaptabilidade social a partir de uma abordagem filosófica e intertextual, utilizando como referência o filme *“Os Croods”* e o *Mito da Caverna de Platão*. A pesquisa adota a metodologia bibliográfica, fundamentada em fontes primárias e secundárias, com o objetivo de investigar como diferentes correntes filosóficas interpretam a resistência humana às mudanças e a busca pelo conhecimento. Os resultados evidenciam que tanto a narrativa cinematográfica quanto a alegoria filosófica evidenciam os efeitos do comodismo, da insegurança diante do novo e da transformação pessoal como fatores determinantes para a construção das relações sociais. A análise dos pensamentos de Platão, Rousseau, Sartre e Durkheim demonstra que a superação de ideias fixas e a abertura a novas perspectivas são essenciais para o desenvolvimento humano. Conclui-se que a adaptabilidade social é uma competência vital para o crescimento individual e coletivo, permitindo maior integração e o desenvolvimento da consciência crítica no convívio social.

**Palavras-chave:** Adaptação social. Existências. Narrativas.

## Abstract

The ability to adapt to new situations and interact harmoniously with others is a crucial skill for the social and emotional success of individuals, especially in constant changing contexts. Throughout History, philosophers have explored the foundations of this response, seeking to understand its importance and develop concepts that help us better reflect on this essential aspect of the human experience. This article analyzes the importance of social adaptability from a philosophical and intertextual approach, using the film *The Croods* and Plato's Allegory of the Cave as references. The research adopts a bibliographic methodology based on primary and secondary sources, aiming to investigate how different philosophical currents interpret resistance to change and the pursuit of knowledge. The results show that both the filmic narrative and the philosophical allegory highlight the effects of complacency, fear of the new, and personal transformation as determining factors in the construction of social relationships. The analysis of the thoughts of Plato, Rousseau, Sartre, and Durkheim demonstrates that overcoming fixed ideas and being open to new perspectives are essential for human development. It is concluded that social adaptability is a vital competence for individual and collective growth, enabling greater integration and the development of critical awareness in social interaction.

**Keywords:** Social adaptation. Existence. Narratives.

## Introdução

Em um mundo em constante transformação, a capacidade de se adaptar a novas situações e conviver com a diversidade tornou-se uma habilidade essencial para o desenvolvimento humano. Mais do que uma exigência prática, essa resiliência envolve aspectos existenciais profundos, que foram objeto de reflexão

por diversos filósofos ao longo da História. A interação entre o indivíduo e o coletivo, a resistência a tudo que é novo e desconhecido e a superação de limites internos são temas recorrentes em obras que buscam compreender a experiência humana.

Este artigo propõe uma análise filosófica da adaptabilidade social por meio de uma leitura intertextual de duas narrativas emblemáticas: o filme *Os Croods*, da DreamWorks, e o *Mito da Caverna*, presente na obra *A República*, de Platão. Ambas ilustram, sob diferentes formas, o conflito entre segurança e mudança, tradição e descoberta, medo e liberdade.

A proposta é refletir como essas narrativas, embora distantes no tempo e na linguagem, oferecem lições convergentes sobre a importância da abertura ao que é novo, do rompimento com zonas de conforto e da busca por autonomia. A análise será amparada por uma perspectiva filosófica que articula contribuições de Platão, Rousseau, Sartre e Durkheim, com o intuito de explorar os desafios contemporâneos da adaptação social em diferentes contextos: do cotidiano familiar ao ambiente corporativo.

## ***Metodologia***

Para a análise em questão, foi aplicado o método de pesquisa bibliográfica, o qual, na visão de Sousa et.al. (2021) tem a finalidade de aprimorar e atualizar o conhecimento do leitor, através de uma investigação científica de obras já publicadas. A pesquisa fundamentou-se em fontes primárias e secundárias, sendo que as primárias basearam-se em informações dos próprios pesquisadores e na bibliografia básica, enquanto nas fontes secundárias foram pesquisadas bibliografias complementares, que facilitam o uso do conhecimento desordenado e trazem o conhecimento de modo organizado (SOUSA et al., 2021).

Sendo assim, pode-se afirmar que a pesquisa bibliográfica, sem dúvida, se apresenta como uma metodologia de investigação científica que propicia ao pesquisador conhecer o estágio do conhecimento acerca do tema que se pretende pesquisar, construir importantes conhecimentos e fundamentar teoricamente seu trabalho de pesquisa.

## ***Desenvolvimento***

O estudo da existência humana e sua adaptabilidade são temas de grande relevância no contexto contemporâneo. A trajetória da humanidade tem sido marcada por uma busca incessante por compreender e moldar o mundo ao seu redor, bem como pela adaptação às mudanças e desafios que

surgem ao longo do tempo. Esses aspectos fundamentais da natureza humana refletem a nossa capacidade de explorar os limites de nossa existência e de se adaptar às demandas sociais.

Tal exploração pode ser entendida como a busca por respostas às questões fundamentais da vida: Quem somos? De onde viemos? Para onde estamos indo? Ao longo dos séculos, foram colocadas em prática nossas capacidades intelectuais e científicas para investigar a natureza do universo, o funcionamento do corpo e da mente, assim como os mistérios da consciência e do propósito da vida. Esse questionamento incessante impulsionou inúmeros avanços nas áreas da ciência, da filosofia, da arte e da religião, ampliando o entendimento sobre o mundo e sobre o ser humano.

A adaptabilidade social constitui um aspecto essencial da vida em sociedade. Desde os tempos mais remotos, o ser humano vive em coletividade, o que exige a construção de habilidades para interagir, comunicar e ajustar-se a valores comuns. Por meio da linguagem, da cultura e das formas de organização social, aprende-se a colaborar e a manter relações que favoreçam a convivência (Zago, 2013; Silva e Junior, 2017).

Essa capacidade de adaptação está profundamente vinculada ao estudo da existência humana. Compreender e lidar com o mundo ao redor demanda constante reformulação de percepções e comportamentos diante de novas informações, contextos e desafios. Adaptar-se, nesse sentido, não é apenas ajustar-se, mas incorporar mudanças de forma consciente, ampliando o entendimento sobre si e sobre o coletivo.

Estudo e adaptabilidade formam, assim, os alicerces do desenvolvimento humano. Enquanto o primeiro amplia os horizontes e impulsiona o crescimento pessoal, a segunda viabiliza respostas efetivas às transformações sociais, culturais e tecnológicas, assegurando a coesão e o avanço da sociedade.

Compreender e refletir sobre tais temas impulsiona o homem a buscar respostas, a expandir fronteiras e a adaptar-se às demandas sociais. São aspectos essenciais que moldam a trajetória como espécie, contribuindo para o avanço do conhecimento, o fortalecimento das relações humanas e a construção de um futuro promissor.

A obra filosófica de Platão, especificamente *O Mito da Caverna*, ilustra a necessidade de transcender a percepção sensorial limitada e usar a razão para compreender a verdadeira natureza da realidade. Ao descrever seres humanos acorrentados em uma caverna desde o nascimento, olhando apenas para as sombras projetadas na parede, acreditando, a partir de uma utopia, que essas sombras são a realidade, sendo de fato apenas uma versão distorcida e ilusória do mundo, Platão argumenta que é necessário sair

da caverna, enfrentar a luz do Sol e buscar conhecimento além das sombras para alcançar a verdade. (Silva e Júnior, 2017).

Em síntese, a obra retrata a realidade do mundo e o obscurantismo em que a humanidade se encontra devido à falta de reflexão e de raciocínio. Os prisioneiros representam aqueles que consideram a estagnação como uma forma de segurança, limitando sua visão da vida e do mundo. Por sua vez, conforme Silva e Júnior (2017), Platão buscava transmitir a noção de que a percepção sensorial limitada não abrange a totalidade da existência, defendendo a importância da razão e da transcendência para compreender os segredos do Universo e acessar o conhecimento verdadeiro.

Essa narrativa pode ser interpretada como uma crítica à ignorância das pessoas que observam o mundo somente através de suas próprias perspectivas, fechadas para outras percepções. A caverna simboliza a limitação imposta pelo que já é conhecido, enquanto as sombras representam as opiniões distorcidas e os preconceitos adquiridos por meio do senso comum. A luz do sol representa o conhecimento verdadeiro e a revelação da verdade. Por fim, a saída da caverna significa a libertação da ignorância e o esforço para alcançar uma compreensão mais profunda do mundo, em busca da sabedoria.

Nesse sentido, o filme animado *Os Croods*, de forma lúdica, complementa essa mensagem, ao destacar a necessidade de abandonar o comodismo, mesmo diante dos desafios do mundo exterior. A história é ambientada na Pré-História, com foco na família Croods, que vive em uma região instável, tanto no que diz respeito à Geologia quanto na própria Natureza. Após testemunhar o trágico falecimento de seus vizinhos, o patriarca Grug Crood decide confinar sua família dentro de uma caverna e cria uma filosofia segundo a qual o medo garantiria a segurança de todos. A obra cinematográfica apresenta as dificuldades de relacionamentos e todo um processo de adaptabilidade familiar diante do que não é reconhecido como característica inata dos indivíduos, o que leva ao à percepção de que a comodidade assemelha-se a uma prisão, ou seja, a “zona de conforto” pode ter se transformado em uma clausura.

Todavia, nem todos da família concordam com essa linha de pensamento e forma de viver. Eep, a filha mais velha, diverge do estilo de vida excessivamente protetor imposto pelo pai, nutrindo um ardente desejo de explorar além dos limites estreitos dessa caverna; em certa ocasião, à noite, é atraída por um brilho proveniente de um foco de fogo e, secretamente, abandona o abrigo seguro da caverna, encontrando, assim, Guy. Esse fato marca o início de uma jornada que desafia a visão limitada dos Croods, os quais mantêm uma compreensão básica de "sobrevivência", mas ignoram ideias como liberdade, sonhos, ambições e conhecimento. Essa situação leva a família a enfrentar novos obstáculos, após a destruição de sua moradia, e a descobrir a importância intrínseca da liberdade, dos sonhos e da busca do

conhecimento, conceitos previamente desconhecidos em seu universo reduzido, opressivo e sombrio, em que a ignorância prevalece.

Do mesmo modo que Grug Crood acreditava que permanecer dentro da caverna era essencial para a sobrevivência, os prisioneiros do Mito de Platão também acreditavam que não havia uma vida melhor fora da caverna. No decorrer da animação, é evidente a importância de abandonar o comodismo, pois, mesmo diante dos perigos do mundo exterior, a família Crood percebe que ficar confinada na caverna resultaria em sua morte. Portanto, a caverna é utilizada como um símbolo da zona de conforto à qual algumas pessoas se apegam.

Denise Rousseau (1998), catedrática da Universidade Carnegie Mellon, nos Estados Unidos, discute muito em seus textos os conflitos existentes em torno do comodismo e a importância da adaptabilidade e do desenvolvimento social ao longo dos anos, conforme fica explícito em suas palavras: "A adaptabilidade social é a chave para a formação de uma comunidade justa e equitativa, e a educação é a chave para superar o comodismo e cultivar uma sociedade mais livre e virtuosa." (Rousseau, 1998, p.38)

Para Vilalba (2013), na obra *O Contrato Social*, o filósofo Jean-Jacques Rousseau aborda a natureza do homem em sociedade e a importância da adaptabilidade social para a formação de uma comunidade justa e equitativa. Argumenta que a adaptabilidade é fundamental para garantir a harmonia e a estabilidade da sociedade, pois permite que os indivíduos se ajustem às necessidades coletivas e se integrem na comunidade, afirmando assim que o homem é, por natureza, um ser social, mas que a sociedade em si é uma construção artificial, baseada em convenções e acordos entre os indivíduos.

É enfatizada, também, a importância da educação na formação do indivíduo e na sua adaptação à sociedade, defendendo que a educação deve ser voltada para a formação de cidadãos virtuosos e conscientes de seus deveres e responsabilidades para com a comunidade. Além disso, o autor destaca a importância da participação ativa dos indivíduos na vida política da sociedade, por meio do exercício da democracia e do envolvimento nas decisões coletivas.

Em outra obra intitulada *Discurso sobre a Origem e os Fundamentos da Desigualdade entre os Homens*, o filósofo Rousseau menciona que o comodismo é uma característica da sociedade moderna que leva à decadência moral e à perda da liberdade. Ele acredita que o comodismo é resultado da crescente divisão do trabalho na sociedade, que faz com que as pessoas se especializem em tarefas específicas e se tornem dependentes uns dos outros para suprir suas necessidades básicas. (Vilalba, 2013)

Para Denise Rousseau (1998), o comodismo é um vício que nos afasta da virtude e da felicidade. Ela argumenta que o ser humano é naturalmente livre e igual aos seus pares, mas que a sociedade moderna corrompe essa liberdade e igualdade, tornando-os dependentes dos outros e da tecnologia. A busca pelo conforto e pela conveniência leva à preguiça e à falta de iniciativa, o que, por sua vez, enfraquece a virtude e a independência.

Conforme sua perspectiva, a educação é a chave para combater o comodismo. Ela defende que, desde cedo, as crianças devem ser ensinadas a valorizar a liberdade, a igualdade e a virtude, a fim de resistirem às tentações do conforto excessivo. Para isso, propõe um modelo educacional inspirado na Natureza, no qual os pequenos aprendem a apreciar a simplicidade e a beleza da vida, desenvolvendo, assim, o senso de liberdade e independência.

Por ser o comodismo um vício que nos afasta da virtude e da liberdade, é fundamental resistir às tentações do conforto excessivo. Valorizar a simplicidade e cultivar a independência tornam-se, portanto, atitudes essenciais para a formação de indivíduos livres e conscientes.

No filme citado, os personagens enfrentam desafios que exigem a superação de suas limitações e a adaptação a novas circunstâncias, refletindo a ideia de Denise Rousseau sobre a importância da adaptabilidade na vida em sociedade.

## *Uma análise do mundo contemporâneo*

Na sociedade contemporânea, é evidente que o mundo passa por transformações constantes, e alguns indivíduos demonstram maior habilidade em se adaptar a essas mudanças do que outros. Existe uma parcela da população que demonstra ser mais apegada a valores e práticas tradicionais, enfrentando dificuldades em lidar com as constantes transformações; entretanto, é importante reconhecer que vivemos em um contexto em que mudanças são inevitáveis e podem ocorrer tanto de forma previsível e planejada como imprevisível.

A existência precede a essência; o ser humano é livre para criar sua própria identidade através de suas escolhas e ações: conceitos defendidos por Jean-Paul Sartre, em sua corrente filosófica existencialista (Júnior et al., 2016).

Nas obras de Sartre, conforme Júnior et al. (2016), são estudados os acontecimentos e atitudes acerca dessa desse tema enfatizando a liberdade e a responsabilidade individual, além de destacar a angústia e o desespero que acompanham as escolhas pessoais.

Juntamente com o autor, pode-se refletir sobre a ausência de uma essência fixa e predefinida no ser humano, ressaltando-se sua liberdade para forjar sua própria identidade por meio de escolhas e ações. Sartre sustentava a convicção de que a existência humana não é determinada por uma natureza ou essência inata, mas sim, modelada pelas decisões e comportamentos individuais. Enfatizava, assim, que a liberdade era um atributo fundamental da condição humana. Concomitantemente, reconhecia que essa liberdade acarreta uma significativa responsabilidade, uma vez que cada indivíduo é responsável pelas escolhas e ações tomadas, assim como pelo impacto que exercem sobre o mundo; logo, conclui-se que a liberdade humana traz consigo a possibilidade de vivenciar angústia e desespero. Uma vez que os indivíduos são inteiramente responsáveis por suas escolhas, devem experimentar a angústia de selecionar entre diversas opções e o desespero decorrente das consequências dessas escolhas. Sartre acreditava que a sociedade moderna e o sistema capitalista contribuem para a alienação do indivíduo, privando-o da capacidade de agir livremente e criar sua própria identidade. Argumentava, assim, que a verdadeira liberdade somente pode ser alcançada por meio da superação da alienação e da conscientização da própria liberdade. (Júnior et al., 2016)

### *No mundo dos negócios*

Ao trazer esse tema para o contexto contemporâneo, é oportuno refletir sobre uma situação na qual um indivíduo passa a participar do mercado de trabalho ao ser contratado por uma organização inovadora, que valoriza a diversidade e promove a convivência de pessoas com distintas personalidades e valores.

Supõe-se que esse indivíduo, proveniente de uma realidade permeada por preconceitos e desigualdades, não tenha tido qualquer contato prévio com indivíduos que possuam perspectivas diferentes. Diante dessa circunstância, é pertinente iniciar nossa análise abordando o pensamento de Émile Durkheim. Conforme Zago (2013), o renomado sociólogo, em sua teoria durkheimiana, sustentava que as ações, pensamentos e sentimentos individuais são moldados por forças pre-existentes no ambiente coletivo, as quais suplantam o indivíduo e o obrigam a se adaptar às normas, leis e comportamentos estabelecidos pela sociedade na qual está inserido, defendendo a ideia de que os fatos sociais são fatores de extrema importância para compreender a sociedade e explicá-la, os quais podem ser considerados a base da ordem social.

Portanto, os fatos sociais exercem pressão e influência sobre as pessoas, moldando seu comportamento de acordo com o comportamento coletivo. Logo, "a sociologia deve analisar como as estruturas sociais moldam o comportamento individual, utilizando um caráter científico." (Durkheim, 1912 apud Zago, 2013, p. 108)

Nesse sentido, presume-se que o indivíduo ingressante no mercado de trabalho pode apresentar uma visão distinta em relação à cultura organizacional da empresa pela qual foi contratado, especialmente no que se refere a questões de diversidade e igualdade.

Ao analisarmos autores como Sartre e Durkheim, percebemos abordagens contrastantes, mas complementares. Sartre, representante do existencialismo, enxerga a liberdade individual como condição para a existência autêntica. Para ele, o sujeito constrói-se a partir de suas escolhas, assumindo responsabilidade plena por seus atos, inclusive pela forma como decide se adaptar (ou não) ao meio. Já Durkheim, de vertente positivista, interpreta a sociedade como uma estrutura que molda os indivíduos por meio de normas e instituições. A adaptabilidade, nesse caso, surge como uma necessidade funcional para a integração social e a manutenção da ordem.

Essas visões se encontram no ponto em que revelam a tensão entre indivíduo e coletividade: Sartre valoriza a autonomia diante da imposição social; Durkheim ressalta a importância de se conformar para fazer parte do tecido social. Ao articular esses autores, é possível entender a adaptabilidade social como um processo complexo, que envolve tanto a internalização de valores quanto o desenvolvimento da consciência crítica sobre eles.

Ao longo das teses defendidas, isso fica claramente compreensível a partir da análise da personalidade de cada personagem presente.

Elemento	Significado no contexto organizacional
Prisioneiro liberto	Indivíduo contratado, que ingressa em uma nova empresa.
Caverna	Corpo do indivíduo preso às suas ideias anteriores, baseadas apenas nas experiências e conhecimentos que já possui.
Sombras da caverna	Preconceitos quanto à diversidade, inovação, valores e personalidades, presentes no ambiente corporativo.
Luz do Sol	Novos conhecimentos, ideias e formas de pensar que surgem com a convivência com colegas diversos e ambientes inovadores.
Saída da caverna	Superação dos pré-julgamentos e início de uma mente mais aberta, inclusiva e adaptável.
Terremoto	Situações de crise ou mudanças forçadas que tiram o indivíduo da zona de conforto e o impulsionam à inovação.
Eep Crood	Colaborador ousado, curioso e flexível, que impulsiona a empresa com entusiasmo, otimismo e aceitação das mudanças.
Grug Crood	Colaborador conservador que resiste às mudanças, prefere a zona de conforto e pode boicotar inovações por medo ou comodismo.
Guy	Colaborador visionário e empreendedor, que planeja, inova e se prepara estrategicamente para as transformações do ambiente.
Ugga, Vovó, Thunk e o bebê	Colaboradores inicialmente resistentes por falta de conhecimento, mas que mudam de comportamento ao receber informações e ao ver bons exemplos.

Elaboração dos autores (2023).

### *De que forma o mito da caverna se aplica ao mundo corporativo?*

Alegoricamente, o *Mito da Caverna de Platão* apresenta-se como uma narrativa multifacetada, suscetível a interpretações de natureza psicológica, sociológica, antropológica, pedagógica, filosófica e outras, permitindo, assim, uma reinterpretação das estruturas organizacionais sob a ótica desse mito.

É relevante ressaltar que a dinâmica entre os indivíduos e o trabalho está em constante progresso. No contexto atual, o mercado de trabalho consiste em empresas que oferecem serviços ou produtos à sociedade, e os trabalhadores desempenham funções específicas nesses estabelecimentos.

Contudo, em algumas ocasiões, essas pessoas podem sentir-se aprisionadas na repetição diária de suas tarefas rotineiras, imersas no mundo das sombras. Conseqüentemente, as organizações devem adotar instrumentos que estimulem seus colaboradores a buscarem aprimoramento e humanização, reconhecendo e recompensando aqueles que se empenham em um desenvolvimento contínuo. Uma equipe mais motivada alcançará um nível de produtividade superior, tornando-se essencial, portanto, refletir sobre as posições assumidas pelas organizações e pelos indivíduos em seu cotidiano, a fim de promover mudanças no estado atual das coisas.

É natural que, ao ingressar em uma organização com uma cultura organizacional distinta, uma pessoa experimente certo receio inicial. O medo de não se adaptar ou a ansiedade podem surgir como consequência dessa situação. No entanto, para se posicionar de forma adequada no mercado de trabalho contemporâneo, ser resiliente e receptivo a novas experiências são pontos essenciais. O mercado está em constante evolução, e é evidente que as empresas estão cada vez mais preocupadas com questões sociais e de inclusão.

Para uma empresa, adotar políticas humanitárias, inclusivas e ambientalmente conscientes é cada vez mais necessário para ser vista com bons olhos. O colaborador, a fim de se integrar, deve se adaptar à cultura da empresa, o que requer deixar de lado preconceitos, pré-julgamentos e medos. É preciso sair da zona de conforto, explorar novas perspectivas, dialogar com outras pessoas, compreender o mundo como ele é hoje, e não como foi no passado.

Dentro do mercado de trabalho, é crucial manter boas relações, seja com clientes, fornecedores, parceiros logísticos ou qualquer outra entidade com a qual a empresa se relacione para conduzir seus negócios. No interior das mais diversas organizações, haverá também uma diversidade de indivíduos, e todos devem ser respeitados.

Além disso, para se destacar dentro de uma organização e aumentar as oportunidades de progresso na carreira, é necessário que o colaborador proponha soluções inovadoras para problemas antigos e aprimorar os processos, mesmo aqueles que já são considerados eficientes. Isso permite que a empresa se diferencie dos concorrentes, aumente sua lucratividade e, conseqüentemente, promova o crescimento conjunto dos funcionários. No entanto, é impossível despertar essa inovação se os colaboradores estiverem presos a ideias arraigadas que foram acumuladas ao longo da vida.

Durante muito tempo, a sociedade aceitou a existência natural da desigualdade, fosse ela social, racial ou de gênero. Os mais pobres trabalhavam para enriquecer ainda mais os ricos, permanecendo em condições de pobreza, enquanto pessoas negras eram escravizadas por pessoas brancas; as mulheres foram privadas por um longo período do direito à educação e ao trabalho, sendo relegadas apenas ao papel de cuidadoras do lar, do marido e dos filhos.

Atualmente, uma parcela significativa da sociedade já possui uma visão diferente e estão sendo implementadas políticas que buscam corrigir essa dívida histórica, como é o caso das cotas sociais e raciais.

Permanecer apegado a essas ideias antiquadas é como manter-se aprisionado dentro da caverna, enxergando apenas sombras. As pessoas não devem aceitar a condição de acorrentadas e, muito menos, optar por continuar indefinidamente na caverna do preconceito, da desigualdade, da falta de posicionamento e da falta de compreensão. É necessário buscar a luz do Sol, o conhecimento que ainda não foi adquirido, e para alcançar essa conquista é preciso sair da caverna, adaptar-se ao ambiente, mesmo que isso pareça estranho, e permitir-se desfrutar do momento, do calor do Sol e dos benefícios que ele traz.

Para ingressar no mercado de trabalho, não é preciso esperar que um terremoto empurre os candidatos para seu interior; e é exatamente essa postura assertiva que distinguirá os selecionados dos não selecionados: a capacidade de ter abertura para enxergar por diferentes perspectivas e, diante desses pontos de vista, o profissional se sentir apto a propor ideias inovadoras que contribuirão de forma extremamente positiva para o futuro da empresa.

## *Considerações finais*

É importante salientar que os temas e conceitos aqui refletidos são relevantes e atemporais; portanto, sempre estarão em voga nos mais diversos estudos sobre a existência humana nos mais diversos ambientes, inclusive no mundo corporativo. Cabe dizer que muitas outras obras podem advir poderão apresentar diferentes aspectos sobre esses temas, mas os pensamentos críticos aqui expostos serão sempre pertinentes à reflexão.

Ao longo deste artigo, foi exposto como a capacidade de adaptação social é fundamental para o desenvolvimento humano, tanto em nível individual quanto coletivo. Utilizando as narrativas do filme *Os Croods* e o *Mito da Caverna*, de Platão, foi possível ilustrar como o medo do novo, o comodismo e a

resistência à mudança podem limitar a experiência humana e restringir o acesso ao conhecimento e à liberdade.

Em síntese, o desenho animado *Os Croods* e o *Mito da Caverna* são exemplos que evidenciam como a busca pelo novo e a capacidade de adaptação são imprescindíveis para a sobrevivência e para a construção de uma sociedade mais justa e igualitária. Torna-se necessário superar o receio do desconhecido e valorizar a liberdade e a determinação na vida, ao mesmo tempo em que se cultivam vínculos familiares e interpessoais sólidos.

Ao relacionar essas perspectivas com o filme, percebe-se que os personagens enfrentam desafios que exigem a superação de suas limitações e a adaptação a novas circunstâncias, refletindo a importância da adaptabilidade social na vida em sociedade. Além disso, eles também são confrontados com dilemas individuais que exigem escolhas e ações responsáveis, ilustrando a importância da liberdade e da responsabilidade individual enfatizadas por Sartre. Por fim, o filme retrata a influência do contexto social na vida dos personagens, mostrando como a interação com outros grupos e a exposição a diferentes ideias moldam suas perspectivas e comportamentos, alinhando-se à abordagem de Durkheim sobre os fatos sociais.

A articulação entre os pensamentos de Platão, Rousseau, Sartre e Durkheim permitiu demonstrar que a adaptação à sociedade envolve tanto condições externas quanto escolhas internas, sendo intermediada por tensões entre liberdade, responsabilidade, convenção e transformação. Cada autor contribuiu para entender a complexidade da existência humana diante dos desafios contemporâneos, como a diversidade cultural, a inclusão social e a dinâmica das relações de trabalho.

A originalidade deste estudo reside na proposta de utilizar narrativas populares para promover reflexão filosófica e social, facilitando o diálogo entre o saber acadêmico e o cotidiano. Tal abordagem reforça o potencial pedagógico de obras culturais que podem ser usadas como ferramentas de sensibilização e formação cidadã.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar a aplicação dessas análises em contextos educacionais e corporativos, avaliando como o pensamento crítico pode ser incentivado a partir de experiências simbólicas que abordam questões humanas universais. Promover essa consciência reflexiva pode ser um caminho valioso para formar indivíduos mais preparados para lidar com um mundo em constante transformação.

## Referências

- MINUTO DO SABER. **Os Croods e o Mito da Caverna de Platão**. Minuto do Saber, [S.l.], 2013. Disponível em: <https://minutodosaber.com/2013/03/os-croods-e-mito-da-caverna-platao/>.
- SIMÕES, A. **Os Croods: uma análise do comportamento e processo de mudanças**. LinkedIn, [S.l.], data de publicação não disponível. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/os-croods-uma-análise-do-comportamento-processo-de-mudanças-simões>.
- Os Croods**. [Filme]. Direção: Chris Sanders, Kirk DeMicco. Produção: DreamWorks Animation, 2013. Disponível em: <https://www.netflix.com/br/title/70143241?s=a&trkid=13747225&t=cp&vlang=pt&clip=81097837>
- ROUSSEAU, J.J. **O contrato social**. Tradução de Lourdes Santos Machado. São Paulo, Martins Fontes, 1998. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/argumentos/article/view/44477/161896>; acessado em 09/08/2023
- ROUSSEAU, J.-J. (2013). **Discurso sobre a origem e fundamentos das desigualdades entre homens** (3ª ed.). São Paulo: Martins Fontes. Disponível em: <https://marcosfabionuva.files.wordpress.com/2011/08/discurso-sobre-a-origem-e-os-fundamentos-das-desigualdades-entre-os-homens.pdf>; acessado em 09/08/2023
- OLIVEIRA, E. M. F. de. O papel da sociologia, segundo Émile Durkheim e Max Weber. **Pós - Revista Brasileira de Pós-Graduação em Ciências Sociais**, [S.l.], v.11, 2013. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/revistapos/article/view/19588>. acessado em 09/08/2023.
- JUNIOR, C. A. V.; BONIFACINO, H. O. A.; ROSO, A.; A construção do sujeito na perspectiva de Jean-Paul Sartre; **Rev. Subj.** vol.16 no.1 Fortaleza abr. 2016
- ZAGO, C.C. Cultura organizacional: formação, conceito e constituição. **Sistema & Gestão, revista eletrônica**; p.106-117; 2013
- SILVA, F, G, S; JUNIOR, A. B.A. Alegoria da caverna, o desejo e a verdade. **Perspectiva Filosófica**, vol. 44, n. 2, 2017
- VILALBA, H. G; **O contrato social de Jean-Jacques Rousseau: Uma análise para além dos conceitos**; [www.marilia.unesp.br/filogenese](http://www.marilia.unesp.br/filogenese); Vol. 6, nº 2, 2013.
- SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, S. O.; ALVES, L H.; A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos; **Cadernos da Fucamp**, v.20, n.43, p.64-83/2021.

# Estudo das pectinas provenientes dos diferentes coprodutos da produção de suco de laranja pera (*Citrus sinensis* L.)

*Study of pectins from different co-products from the production of pear orange juice (*Citrus sinensis* L.)*

## Engenharia de Alimentos

**Marco Antonio Conti Carlotti Filho** ([pro5429@cefsa.edu.br](mailto:pro5429@cefsa.edu.br))

Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pelo Instituto Mauá de Tecnologia e professor na Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Fernanda Silvestri Pires** ([fernandasilvestri21@gmail.com](mailto:fernandasilvestri21@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Maria Luíza Pequeno Cláudio** ([malufaculdade24@gmail.com](mailto:malufaculdade24@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Mariana Pinheiro da Silva** ([mariana.psilva2604@gmail.com](mailto:mariana.psilva2604@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Tamires Feitosa de Abreu Silva** ([feitosa.tamiris00@gmail.com](mailto:feitosa.tamiris00@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Alimentos pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025
- ISSN 2525-8729

Submissão: 10 dez. 2024 Aceitação: 28 mai..2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 22 - 38

FTT JOURNAL  
*of Engineering and Business*



## *Resumo*

A laranjeira é amplamente cultivada, sendo o Brasil o seu maior produtor. Após a extração de suco, 50 % do peso da fruta torna-se coproduto, indicando oportunidades de aproveitamento. Este estudo avaliou o rendimento e a textura de géis preparados com pectina extraída de partes da laranja pera (*Citrus sinensis L.*): albedo, casca e bagaço. As extrações ácidas foram seguidas de secagem, formação de gel e produção de geleia de maçã. Realizou-se análise de textura (TPA) nos géis formados e teste sensorial de comparação múltipla nas geleias elaboradas. O bagaço destacou-se como fonte promissora, com rendimento superior ao albedo (cerca de duas vezes superior) e ligeiras diferenças nos atributos de textura e sabor.

**Palavras-chave:** Bagaço. Geleia. Otimização. Texturômetro. Sustentabilidade.

## *Abstract*

The orange tree is widely cultivated, being Brazil its largest producer. After juice extraction, 50 % of the fruit weight becomes waste, indicating opportunities for its use. This study evaluated the yield and texture of gels prepared with pectin extracted from parts of the pear orange (*Citrus sinensis L.*): albedo, peel and pulp. Acid extractions were followed by drying, gel formation and production of apple jelly. Texture analysis (TPA) was performed on the gels formed and multiple comparison sensory testing was performed on the jellies produced. Pulp stood was highlighted as a promising source, with a higher yield than albedo (about twice higher) and slight differences in texture and flavor attributes.

**Keywords:** Orange Pulp. Jelly. Optimization. Texturometer. Sustainability.

# Introdução

O Brasil é o maior produtor e exportador de laranjas do mundo, com uma produção estimada em 17.615.667 toneladas no ano de 2023, sendo o estado de São Paulo o de maior destaque (IBGE, 2025). Aproximadamente 34% das laranjas são destinadas à produção de sucos, gerando uma grande quantidade de coprodutos, que correspondem a cerca de 50% de massa da fruta. Esses coprodutos são normalmente encaminhados para compostagem ou utilizados em rações animais (Zanella, 2013; Campos, 2012).

Composta por várias partes, a laranja apresenta o albedo (parte esbranquiçada), o flavedo (casca externa) e o bagaço (membranas e vesículas) (Fernandes, 2024). O albedo é o de maior interesse científico devido à possibilidade de extração de pectina, molécula usada em alimentos por suas propriedades gelificantes, emulsificantes, espessantes e estabilizantes (Zanella, 2013; Fuchs, 2020). Estudos indicam que a extração de pectina do albedo tem rendimento de 25,2%, e que a casca e o bagaço também são fontes viáveis para a obtenção da pectina, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos coprodutos da laranja (Zanella, 2013; Fuchs, 2020).

Pode-se realizar a extração de pectina por meio de métodos físicos, químicos, enzimáticos ou combinados, sendo o método químico o mais utilizado, envolvendo ácidos como o cítrico, o láctico e o nítrico (Fuchs, 2020; Campos *et al.*, 2022). A pectina extraída pode ser classificada em dois tipos: ATM (Alta Metoxilação), com mais de 50% de metoxilação, que gelifica rapidamente em soluções com 65 °Brix e pH 3, e BTM (Baixa Metoxilação), com menos de 50% de metoxilação, que gelifica lentamente na presença de cálcio e é obtida por desesterificação em meios alcoólicos ou por via enzimática (Silva *et al.*, 2020; Calliari, 2004).

As geleias de frutas são produzidas por geleificação, processo em que a pectina, ao ser combinada com o açúcar, forma uma rede de fibrilas não solúveis que aglutinam o açúcar, criando a textura desejada. A quantidade de pectina, o açúcar e o pH são fatores determinantes para a geleificação (Gonzalez *et al.*, 2022; Sakamoto *et al.*, 2015). De acordo com a Resolução nº 12, de 1978, do Ministério da Saúde, a geleia pode ser caracterizada como um produto "extra", que contém 50% de polpa de fruta e 50% de açúcar, ou "comum", com 40% de polpa e 60% de açúcar, devendo ser firme ao cortar, não pegajosa ou viscosa (Berte, 2024; Embrapa, 1998).

Análise sensorial é uma ciência relativamente recente, que se desenvolveu a partir de uma necessidade da indústria alimentícia de atender às exigências do consumidor (Palermo, 2015; Sá,

2021). A pectina comercial, nesse contexto, é encontrada como um pó fino de cor branco-amarelada, quase inodora (Nutrição, 2024).

Diante desse cenário, este estudo foi realizado para avaliar o rendimento de extração, a textura e o sabor do gel proveniente da pectina extraída de diferentes partes da laranja pera (*Citrus sinensis* L.), sendo elas: o bagaço, o albedo e a casca (albedo junto com o flavedo).

## ***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.

## Caracterização das matérias-primas

As análises para caracterização dos frutos foram realizadas em triplicata a partir do suco de laranja, a fim de se obter aspectos técnicos do lote utilizado. A análise de acidez total da fruta foi realizada seguindo a metodologia 016/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008), e a análise de sólidos solúveis totais de acordo com a metodologia 315/IV, também do Instituto Adolfo Lutz (2008), usando-se um refratômetro digital portátil DR201-95 da marca Krüss.

O Ratio (relação do teor de sólidos solúveis total (°Brix)/acidez total) foi determinado conforme metodologia 316/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008) através da Equação 1.

$$\text{Ratio} = \frac{\text{°Brix}}{\text{Acidez Total}} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

A determinação do potencial de hidrogênio iônico (pH) foi realizada seguindo a metodologia 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008), e o equipamento utilizado foi o pHmetro de bancada da marca Logen.

## Extração da pectina

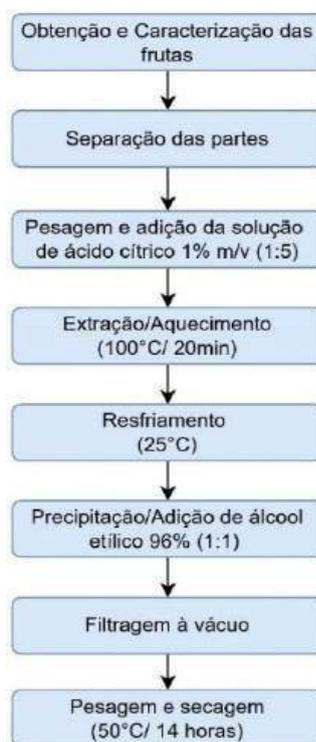
As laranjas pera da espécie *Citrus sinensis* (L.), utilizadas para extração de pectina, foram adquiridas em loja de hortifrutti, na cidade de Diadema (SP). As frutas foram sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio a 0,02% por 15 minutos (Monteiro, 2022), seguidas de enxágue. A extração seguiu as combinações: pectina padrão (albedo - PP), pectina A (casca, albedo e flavedo - PA) e pectina B (bagaço e restos de membranas - PB).

Para PP, a casca foi retirada com descascador manual e o albedo com facas inox. Para PA e PB, as laranjas foram partidas, as sementes retiradas e o suco extraído, separando-se casca para PA e bagaço para PB. Os materiais foram cortados em pedaços pequenos, de aproximadamente 1 cm de aresta, para facilitar a extração, aumentando a área de contato com a solução ácida (Zanella, 2013).

As extrações ocorreram nos laboratórios da Faculdade Engenheiro Salvador Arena (FESA), em São Bernardo do Campo (SP), com reagentes e equipamentos fornecidos pela instituição. Foram realizadas em triplicata para cada parte da laranja (albedo, casca e bagaço), utilizando-se o método de extração ácida adaptado de Liew *et al.* (2014), USP (2019) e Zanella (2013), com solução de ácido

cítrico 1% (m/v). O processo aplicado foi igual para as três partes estudadas (albedo, casca e bagaço) e pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de extração da pectina da laranja pera *Citrus sinensis* (L.).



Fonte: elaboração dos autores (2024).

As partes foram pesadas (50 g) e cobertas com a solução de ácido cítrico na proporção 1:5 (m/m). Os béqueres foram aquecidos em bico de Bunsen e mantidos em ebulição, a 98 °C, por 20 minutos. Após o aquecimento, as amostras foram filtradas, resfriadas em banho de gelo a 25°C, pesadas e nelas foi adicionado álcool etílico 96%, na proporção 1:1. Após 10 minutos, para separação da pectina, as amostras foram filtradas a vácuo, e o precipitado obtido foi transferido para placas de Petri, secas a 50°C por 14 horas. As pectinas foram pesadas e trituradas, para a redução de granulometria, e armazenadas em béqueres de 200 mL cobertos com papel alumínio, dentro de sacos plásticos de polietileno e mantidos em temperatura ambiente.

### ***Rendimento da secagem da pectina***

O rendimento ( $\eta_{sec}$ ) da secagem da pectina foi realizada seguindo a Equação 2, de acordo com Costa *et al.* (2023), analisando-se a quantidade de pectina obtida após a retirada da água e do álcool residual em comparação com a massa inicial de suspensão de pectina.

$$\eta_{sec}(\%) = \frac{m_{pectina\ seca}}{m_{inicial\ da\ suspensão\ de\ pectina}} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

### *Rendimento global da extração da pectina*

O rendimento global da extração da pectina ( $\eta_{ext}$ ) das partes analisadas foi realizado com base na massa obtida na etapa de secagem em comparação com a quantidade de matéria-prima utilizada, conforme a Equação 3 (COSTA *et al.*, 2023).

$$\eta_{ext} (\%) = \frac{m_{pectina\ seca}}{m_{parte\ utilizada}} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

### *Análise de umidade*

A análise de umidade das pectinas extraídas das diferentes partes da laranja foi realizada de acordo com a metodologia 012/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008). As amostras utilizadas foram as pectinas secas das partes da laranja, juntamente com uma pectina comercial em pó ATM da marca Êxodo Científica. As análises foram realizadas para se verificar o comportamento das pectinas extraídas em comparação com uma pectina comercial e consagrada no mercado.

### *Obtenção dos géis de pectina*

Para caracterizar os géis obtidos com as pectinas extraídas das diferentes partes da laranja, foram produzidos géis pécticos com base na metodologia adaptada de Bobbio *et al.* (1995) e analisado o perfil de textura utilizando um texturômetro (TPA). Para otimizar o tempo, os géis foram elaborados com a suspensão de pectina obtida após a filtragem, e o teor em massa foi calculado a partir do rendimento teórico de secagem, a fim de se obter a quantidade desejada de 4,5 g de pectina em cada parte. A quantidade das suspensões de pectina utilizadas para a produção dos géis foram: 143,56 g para o bagaço (PB); 202,15 g, para o albedo (PP) e 213,58 g, para a casca (PA). Esses valores foram obtidos a partir dos rendimentos obtidos de secagem.

Foram adicionadas às suspensões de pectina 12g de sacarose: em seguida, foram colocadas em chapa de aquecimento. Numa etapa seguinte, foram acrescentados mais 78g de sacarose, mantendo-se agitação (o volume resultante em agitação) até a dissolução (Bobbio *et al.*, 1995). A solução foi fervida até atingir 65° Brix e, finalmente, foi resfriada por 5 minutos e então foi adicionado 1,5 g de ácido cítrico PA. Após a homogeneização, deixou-se em repouso para a geleificação.

Foram produzidos 3 géis por amostra, que foram armazenados em béqueres de 250 mL cobertos com papel alumínio e analisados no texturômetro 14 dias após o preparo, à temperatura ambiente. O processo foi o mesmo para todas as amostras.

### *Análise do perfil de textura*

Para a obtenção dos parâmetros do perfil de textura das pectinas, foi realizado o teste TPA (*Texture Profile Analysis*) utilizando-se o texturômetro desenvolvido por alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação da Faculdade Engenheiro Salvador Arena.

O teste foi realizado com amostras dos géis de pectina correspondentes a cada uma das partes da laranja e o instrumento foi parametrizado com célula de carga máxima de 15 kg, utilizando-se uma probe cilíndrica de 18,8 mm de altura e 36 mm de diâmetro. As condições de teste utilizadas para o ensaio de TPA foram as seguintes: velocidade pré-teste = 2 mm/s; velocidade de teste = 5 mm/s; velocidade pós-teste = 2 mm/s; tempo entre intervalo = 5 s; compressão alvo = 40 % de deformação; valor de detecção = 2 g (Guiné *et al.*, 2020; Soares *et al.*, 2003; Yusof *et al.*, 2019). Os testes foram realizados em triplicata. Com base no gráfico gerado a partir do perfil de textura, foi possível obter os parâmetros calculados pelo *software* do texturômetro.

### *Produção de geleias: etapas*

As geleias de maçã foram produzidas na Faculdade Engenheiro Salvador Arena, utilizando-se maçãs Fuji, por terem sabor neutro, capazes de contribuir para a identificação de aromas e sabores provenientes das partes da laranja, como no caso do óleo essencial, presente no flavedo, que pode migrar para a pectina durante o processo de extração (PIRES *et al.*, 2014). As maçãs foram adquiridas em uma loja de hortifruti local em São Bernardo do Campo (SP), e pesadas em balança semi-analítica. A composição consistiu em 46,7% de maçã, 46,7% de açúcar, 6,2% de ácido cítrico 5% (m/m), (para ajustar o pH entre 3,0 e 3,2) e 0,5% de pectina.

As maçãs foram selecionadas manualmente, lavadas e sanitizadas em solução de hipoclorito (0,02 % por 15 minutos). Após a remoção da casca e das partes não comestíveis, uma amostra foi usada para medir os sólidos solúveis (°Brix), e o restante foi, em béquer de 2 L, cozido em bico de Bunsen até chegar à ebulição durante 20 minutos. A polpa foi homogeneizada e os sólidos solúveis foram medidos novamente para se calcular a quantidade de açúcar e pectina neles existentes.

Para a elaboração da geleia, em um béquer de 1 L foram adicionados a massa de fruta e parte do açúcar. Essa mistura foi levada à cocção em bico de Bunsen com agitação constante até atingir 60 °Brix, cuja leitura foi realizada por meio de um refratômetro digital portátil. Após atingir o teor de sólidos solúveis desejado, a solução de pectina foi adicionada, sendo previamente dosificada de acordo com os resultados de rendimento teórico da secagem, obtidos anteriormente para cada uma das partes da laranja, e então a mistura foi homogeneizada. A solução de pectina foi formada pela suspensão de pectina e por dosagem de açúcar correspondente a 4 vezes a quantidade de pectina presente na solução, a qual teve de ser acrescentada ao final do processo para que não seja degradada devido ao aquecimento excessivo (Aguiar et al., 2016).

Após homogeneização, solução de ácido cítrico 5% foi adicionada para ajustar o pH a 3, facilitando a geleificação e evitando a cristalização do açúcar (Krolow, 2013). O aquecimento continuou até atingir 65-68 °Brix (Lemos *et al.*, 2019), e a geleia foi armazenada sob refrigeração (5°C), para análise sensorial.

#### *Análise sensorial: teste de comparação múltipla*

O teste de comparação múltipla avaliou diferenças de sabor entre três amostras de geleia obtidas das pectinas extraídas de partes da laranja, utilizando a metodologia 159/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Participaram do processo 50 avaliadores não treinados, compostos por alunos e professores da Faculdade Engenheiro Salvador Arena. Eles receberam quatro amostras: uma de controle, feita com albedo PP, outra de controle codificado, também de albedo, e duas amostras-teste codificadas, da casca PA e do bagaço PB. A escala usada foi de cinco pontos, variando de 1 (nenhuma diferença significativa) a 5 (extrema diferença). O balanceamento simplificado foi aplicado para evitar vieses e garantir a confiabilidade, replicando a sequência de amostras até atingir o total de avaliadores.

#### *Análises estatísticas*

Para a análise dos resultados de rendimento de extração e secagem da pectina, do perfil de textura (TPA) e da sensorial, foi utilizado o método de ANOVA (Análise de Variância). Para os casos em que as médias apresentadas foram estatisticamente diferentes entre si, aplicou-se o teste de Tukey (Airton, 2024) e de Dunnett, sendo este último para a análise sensorial. Todos os testes foram realizados em um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

# *Resultados e discussão*

## *Avaliação das características físico-químicas dos frutos*

Os testes foram realizados em triplicata com o suco produzido de 20% das laranjas do lote de trabalho. O resultado para acidez total titulável foi de  $0,54 \pm 0,01\%$  de ácido cítrico (m/v) e o de sólidos solúveis foi de  $9,6 \pm 0,2$  °Brix.

O ratio é um parâmetro que avalia o nível de maturação das frutas. Valores entre 8,8 e 15,4 indicam um grau de maturação aceitável para o consumo de frutas *in natura*, enquanto para a produção de sucos é preferível entre 12 e 19,5 (Danieli *et al.*, 2009). O resultado médio encontrado foi de  $17,8 \pm 0,2$ , indicando um grau de maturação ótimo para a extração de pectina, pois segundo Zanella (2013) e Campos (2012), durante o processo de amadurecimento, a protopectina é convertida em pectina coloidal. Esse fenômeno faz com que frutas, em grau de maturação mais avançado, proporcionem maior rendimento de extração da pectina.

O pH da polpa apresentou um valor médio de  $4,35 \pm 0,01$ , valor um pouco acima dos níveis encontrados em literaturas para frutas cítricas, com valores entre 3,4 e 4,0 (Danieli *et al.*, 2009). Esse aumento pode indicar uma maturação acentuada, uma vez que as reações químicas dessa fase diminuem a quantidade de ácido e, conseqüentemente, aumentam o pH.

## *Avaliação das pectinas*

### *Umidade das pectinas*

Os resultados da análise de umidade das pectinas extraídas e secas em estufa foram comparados com a pectina comercial em pó da empresa Êxodo Científica, utilizada como padrão para correção dos rendimentos. A pectina comercial apresentou umidade de  $4,7 \pm 0,2\%$ , enquanto a pectina extraída do albedo (PP) teve  $37 \pm 5\%$ , da casca (PA)  $24 \pm 2\%$  e do bagaço (PB)  $26 \pm 1\%$ . Esses resultados indicam que as pectinas extraídas apresentaram teores de umidade significativamente mais elevados que a comercial, com uma diferença média de 24,2%; também sugerem que, sem a correção para o teor de umidade, os rendimentos de extração poderiam ser superestimados, pois a umidade contribui para o aumento da massa final.

A pectina comercial, com baixa umidade e pequeno desvio padrão, evidencia a eficiência do processo de secagem por spray-dryer, que remove rapidamente a água, transformando a pectina

em um pó seco e estável. Já as pectinas extraídas em laboratório, secas em estufa, apresentaram níveis mais altos de umidade, explicando a diferença observada.

### *Rendimentos teórico e real de extração global e secagem*

Os rendimentos real e teórico de extração global e de secagem, obtidos para as diferentes partes estudadas (albedo, bagaço e casca) estão representados na Tabela 1. O rendimento global real foi calculado a partir da massa de amostra utilizada para extração, 50 g, e da massa final de pectina, obtida após a secagem, sendo que o rendimento real da secagem foi mensurado a partir da relação mássica entre a suspensão de pectina filtrada e a obtida após a secagem. O rendimento da secagem real foi determinado, porque na elaboração dos géis e geleias optou-se por utilizar as suspensões de pectina, por efeito prático, e a dosificação adequada foi estabelecida a partir desses valores.

Diante da diferença encontrada entre os níveis de umidade das pectinas após a secagem, os rendimentos teóricos foram obtidos por meio de cálculo da massa final, baseado no teor de umidade semelhante ao da amostra comercial, através do balanço de massa. Os resultados dos rendimentos teóricos foram utilizados para cálculos posteriores.

Tabela 1 – Rendimentos teórico e real da extração global e da secagem obtidos para as diferentes partes de laranja. O Rendimento Global estabelece a relação mássica entre as massas das amostras iniciais e as obtidas após o processo de secagem. O Rendimento de Secagem estabelece a relação mássica entre as massas das suspensões de pectina e as obtidas após o processo de secagem. O rendimento teórico leva em consideração as hipotéticas massas finais, calculadas a partir da umidade da amostra comercial.

Rendimento (%) *	Pectina Padrão	Pectina	Pectina
	Albedo (PP)	Casca (PA)	bagaço (PB)
Rendimento Global Real	3,4 ± 0,3a	2,3 ± 0,4a	6,9 ± 0,7b
Rendimento Global Teórico	2,3 ± 0,2a	1,9 ± 0,4a	5,3 ± 0,5b
Rendimento de Secagem Real	3,4 ± 0,3ab	2,64 ± 0,04a	4,10 ± 0,5b
Rendimento de Secagem Teórico	2,2 ± 0,2a	2,11 ± 0,03a	3,1 ± 0,4b

\*Resultados expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os resultados ao nível de significância de 5%.

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Os resultados globais de extração indicaram que o bagaço apresentou o maior rendimento, significativamente superior ao da casca e do albedo e com média acima de 5 %, o que torna viável sua utilização como matéria-prima para a extração de pectina por ter o rendimento duas vezes maior ao do albedo. As amostras de casca (PA) e albedo (PP) tiveram rendimentos semelhantes,

com médias superiores a 2%, sendo estatisticamente iguais. Nenhuma das partes estudadas apresentou rendimento inferior ao do albedo ( $p < 0,05$ ), que é a fonte convencional para a extração industrial de pectina.

De forma semelhante, o rendimento teórico na secagem evidenciou maior rendimento nas amostras de bagaço (PB), enquanto as amostras de casca (PA) e de albedo (PP) apresentaram valores iguais, em nível de significância de 5%. A única exceção foi observada no rendimento real de secagem, segundo o qual o bagaço (PB) não diferiu significativamente do albedo (PP) nos testes realizados. Esses resultados reforçam a importância e o potencial do bagaço como uma matéria-prima promissora para a extração de pectina.

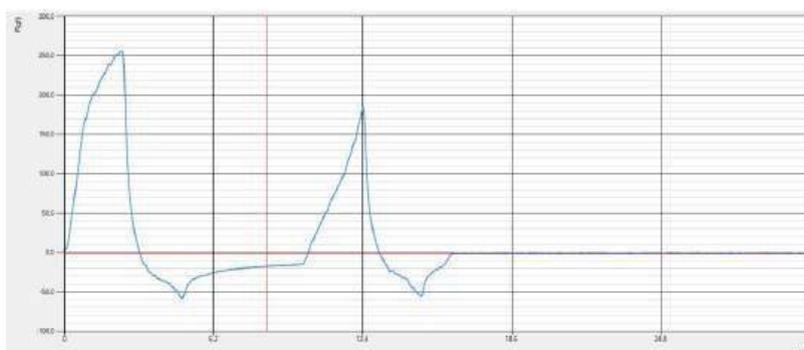
### *Avaliação dos parâmetros da análise do perfil de textura (TPA)*

#### *Rendimentos teórico e real de extração global e secagem*

A Análise do Perfil de Textura (TPA) é um teste de compressão dupla, utilizado para determinar as propriedades de textura dos alimentos, simulando as duas primeiras mordidas humanas na mastigação do alimento. Ela gera um gráfico força-tempo, sendo possível a caracterização de alimentos e seu controle de qualidade. (Texture Technologies, 2024; Yusof *et al.*, 2019).

O teste foi realizado em triplicata, a partir dos géis elaborados com as pectinas extraídas das 3 diferentes partes da laranja. Um exemplo de gráfico gerado no teste encontra-se na Figura 2, sendo a primeira amostra analisada do gel de albedo. Os resultados obtidos no TPA para cada parâmetro estão representados na Tabela 2.

Figura 2 – Curva do perfil de textura (TPA) de uma amostra do gel de albedo obtida através do texturômetro.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros de textura obtidos no texturômetro para cada parte da laranja.

Parâmetros*	Gel Albedo (PP)	Gel Casca (PA)	Gel bagaço (PB)
Dureza (gf)	287 ± 45a	707 ± 53b	567 ± 31b
Elasticidade (%)	98 ± 3a	96 ± 4a	94 ± 3a
Coabilidade (%)	54 ± 5a	43,8 ± 0,6a	53 ± 5a
Resiliência (%)	15 ± 3a	23 ± 1b	18 ± 3ab
Adesividade (gf.s)	-277 ± 18a	-102 ± 30b	-357 ± 32a
Gomosidade (gf)	155 ± 31a	309 ± 19b	243 ± 21b

\*Resultados expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre os resultados em nível de significância de 5%.

Fonte: elaboração dos autores (2024).

A análise de textura das pectinas extraídas das partes da laranja apresentou os resultados a seguir. Em relação à dureza, o gel do albedo (PP) exigiu menor força máxima na primeira compressão, sendo significativamente diferente dos géis da casca (PA) e do bagaço (PB), que mostraram valores mais altos e iguais estatisticamente (Texture Technologies, 2024).

Todas as amostras apresentaram alta elasticidade, iguais estatisticamente, recuperando entre 94% e 98% de sua forma original após a compressão, semelhante a produtos como balas de goma, também de textura gelatinosa (Guiné *et al.*, 2020). Sobre a coabilidade, as amostras exibiram valores baixos, iguais estatisticamente, entre 43,8% e 54%, facilitando a mastigação e indicando boa aceitação por parte dos consumidores (Yusof *et al.*, 2019).

A resiliência variou de 15% a 23%, com diferença significativa entre as amostras, refletindo a capacidade de recuperação da altura após a compressão inicial (Guiné *et al.*, 2020). O gel da casca teve menor adesividade, atribuída ao óleo essencial residual, reduzindo sua aderência à boca e aos dentes (Souza *et al.*, 2024).

A gomosidade, produto de dureza e coabilidade, apresentou diferenças significativas, com (sendo) o gel do albedo distinto e menor que os outros, devido à energia gasta para desintegrar uma amostra semissólida até alcançar um estado em que ela está pronta para ser ingerida (Texture Technologies, 2024; Yusof *et al.*, 2019).

Considerando a coabilidade como principal parâmetro associado à aceitação de geleias, tanto a pectina do bagaço, que atendeu a 4 dos 6 padrões de textura, quanto a pectina da casca podem ser utilizadas como fontes viáveis no quesito textura de gel (Yusof *et al.*, 2019).

### *Avaliação sensorial: teste de comparação múltipla*

A análise sensorial, realizada com 50 avaliadores, utilizou o teste de comparação múltipla para avaliar o sabor de geleias feitas com pectinas extraídas de diferentes partes da laranja. Após exclusão de respostas inconsistentes, 36 avaliações válidas foram analisadas. A ANOVA indicou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), e o teste de Dunnett revelou que a geleia de maçã, obtida através da pectina da casca (204), era moderadamente diferente do controle, enquanto a produzida com a pectina do bagaço (712) apresentou leve diferença.

As pontuações médias, atribuídas para as geleias de maçã, foram: a produzida com a pectina da casca (204)  $3,1 \pm 0,7$ , a com pectina do bagaço (712)  $2,4 \pm 0,7$ , e a com pectina proveniente do albedo (856)  $1,7 \pm 0,4$ . A geleia produzida com o coproduto casca foi descrita como amarga, com gosto de laranja cozida e mais ácida, enquanto a geleia com pectina do bagaço foi percebida como mais doce, menos firme e com sabor ácido. A amostra de albedo (856) não recebeu comentários. Os resultados indicam que a pectina da casca pode ter uso limitado devido ao amargor, enquanto a pectina do bagaço apresentou menor impacto sensorial, sendo viável para aplicações alimentícias no quesito sensorial por apresentar valores próximos ao do albedo em que a pectina comercial é extraída.

## *Considerações finais*

O estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da extração de pectina de partes não convencionais da laranja e verificar a textura e o sabor da geleia produzida a partir dessas partes. Os resultados mostraram que o albedo, o bagaço e a casca contêm pectina, sugerindo uma alternativa para o reaproveitamento desses coprodutos, agregando valor. A pectina extraída da casca apresentou diferenças significativas em quatro itens de textura e teve uma influência marcante no sabor, provavelmente devido aos óleos essenciais presentes. A pectina do bagaço mostrou-se uma fonte promissora, com rendimento duas vezes maior que o do albedo, e características de textura similares, exceto em dureza e gomosidade. Em termos de sabor, o sabor da pectina realçou-se e aguçou ligeiramente a percepção do grupo de degustadores, efeito que pode ser reduzido ao se utilizar frutas com sabores mais intensos do que a maçã.

## *Referências*

AGUIAR, Viviane França *et al.* Desenvolvimento de geleia mista de maçã e mel: análise da viabilidade através da aceitação sensorial. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 10,n. 3, p. 78-84, 28 nov.

2016. IFCE. <http://dx.doi.org/10.21439/conexoes.v10i3.860>. Disponível em: <https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/860/788>. Acesso em: 22 maio 2024.

AIRTON, José. **O que é anova: um guia completo sobre a ferramenta estatística**. 2024. Cirus Quality. Disponível em: <https://cirusquality.com.br/o-que-e-anova-um-guia-completo-sobre-a-ferramenta-estatistica/>. Acesso em: 17 nov. 2024.

BERTE, Ana Beatriz. **Como produzir geleias de qualidade**. 2024. EMPEA - Engenharia de Alimentos. Disponível em: <https://empeaconsultoria.com.br/como-produzir-geleias-de-qualidade/#:~:text=Segundo%20a%20legisla%C3%A7%C3%A3o%20brasileira%20de%20geleias%20de%20frutas%2C,comum%2C%20geleia%20extra%20e%20geleia%20simples%20o%20mista..> Acesso em: 22 maio 2024.

BOBBIO, Florinda O. *et al.* **Manual de laboratório de química de alimentos**. São Paulo: Varela, 1995. 124 p.

CALLIARI, Caroline Maria. **Extração térmica, química e enzimática de pectina de bagaço de laranja**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/srv-c0003-s01/api/core/bitstreams/83594e07-a74a-4518-8301-e659294e48b5/content>. Acesso em: 28 nov. 2024.

CAMPOS, Natália Alves *et al.* Pectina: uma abordagem teórica sobre os métodos de extração. **REBRAPA: Brazilian Journal of Food Research**, Paraná, v. 13, n. 2, p. 31-50, abr./jun. 2022. Trimestral. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/15072>. Acesso em: 28 mar. 2024.

CAMPOS, Ricardo de Souza. **Extração aquosa de pectina a partir do bagaço da laranja**. 2012. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Fundação Educacional do Município de Assis - Fema, Assis, 2012. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0911290990.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2024.

COSTA, João Victor Assis *et al.* **Aproveitamento de coprodutos: utilização da casca de laranjas descartadas no refeitório do cefsa para obtenção de óleo essencial**. 2023. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade Engenheiro Salvador Arena, São Bernardo do Campo, 2023. Disponível em: <https://cefsa.bnweb.org/scripts/bnweb/bnmap.exe?router=upload/14624>. Acesso em: 21 mai. 2024.

DANIELI, Flávia *et al.* Determinação de vitamina C em amostras de suco de laranja in natura e amostras comerciais de suco de laranja pasteurizado e envasado em embalagem Tetra Pak. **Revista do Instituto de Ciências da Saúde**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 361-365, 2009. Disponível em: [https://repositorio.unip.br/wp-content/uploads/2020/12/V27\\_n4\\_2009\\_p361-365.pdf](https://repositorio.unip.br/wp-content/uploads/2020/12/V27_n4_2009_p361-365.pdf). Acesso em: 02 nov. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. ISSN -0103-6068: **Manual para produção de geléias de frutas em escala industrial**. 29 ed. Rio de Janeiro, 1998. 27 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/415585/1/1998DOC0029.pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.

FERNANDES, Iara Janaína. **Avaliação da extração de óleo essencial do coproduto da casca de laranja**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Iara-Fernandes/publication/274253385/figure/fig1/AS:391995001458688@1470470299309/Figura-1-Partes-que-compoem-a-laranja.png>. Acesso em: 24 mar. 2024.

FUCHS, Gustavo Alexandre. **Pectina extraída do bagaço de laranja (Citrus sinensis L. Osbeck): caracterização química e reológica e hidrólise enzimática**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências-Bioquímica, Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

GONZALEZ, Vladimir Rubiano *et al.* Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria. **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 5294- 5309, 15 nov. 2022. Asociacion Latinoamericana para el Avance de la Ciencia. [http://dx.doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i5.3498](http://dx.doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498). Disponível em: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/3498/5320>. Acesso em: 31 mar. 2024.

GUINÉ, Raquel P. F. *et al.* Evaluation of texture in jelly gums incorporating berries and aromatic plants. **Open Agriculture**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 450-461, maio 2020. Walter de Gruyter GmbH.

<http://dx.doi.org/10.1515/opag-2020-0043>. Disponível em: [https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opag-2020-0043/html#j\\_opag-2020-0043\\_fig\\_001\\_w2aab3b7d285b1b6b1ab1b1b3b3b3Aa](https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/opag-2020-0043/html#j_opag-2020-0043_fig_001_w2aab3b7d285b1b6b1ab1b1b3b3b3Aa). Acesso em: 09 maio 2024.

IBGE. **Produção de Laranja**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>. Acesso em: 23 jun. 2025.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico- químicos para análises de alimentos**. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 302 p. Disponível em: [http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016\\_3\\_19/analisedealimentosial\\_2008.pdf](http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf). Acesso em: 09 maio 2024.

KROLOW, Ana Cristina Richter. **Preparo artesanal de geleias e geleiadas**. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125738/1/Documento-138.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

LEMOS, Danielle Martins *et al.* Elaboração e caracterização de geleia prebiótica mista de jabuticaba e acerola. **Brazilian Journal Of Food Technology**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 1-13, jan. 2019. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.09818>. Acesso em: 22 maio 2024.

LIEW, Shan Qin *et al.* Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. **Agriculture And Agricultural Science Procedia**, [S.L.], v. 2, p. 231-236, 2014. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033>. Acesso em: 19 mar. 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - COMISSÃO NACIONAL DE NORMAS E PADRÕES PARA ALIMENTOS. Constituição (1978). **Resolução nº 12, de 1978**. Resolução Nº 12, de 1978. Brasília, DF, Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1978/res0012\\_30\\_03\\_1978.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cnnpa/1978/res0012_30_03_1978.html). Acesso em: 18 nov. 2024.

MONTEIRO, Eduarda Rodrigues. **Sanitização de frutas e hortaliça: Uma revisão**. 2022. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialista em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/8633>. Acesso em: 05 jun. 2024.

NUTRIÇÃO, IMEN- **Instituto de metabolismo e fibras na nutrição humana**. 2024. Disponível em: [https://www.nutricaoclinica.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=203:bras-na-nutricao-humana-caracteristicas-e-classificacao-parte-2&catid=11:coracao&Itemid=16#:~:text=A%20pectina%20C%3%A9%20um%20p%3%B3,%2C%20opalescente%2C%20coloidal%20e%20C%3%A1cida..](https://www.nutricaoclinica.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=203:bras-na-nutricao-humana-caracteristicas-e-classificacao-parte-2&catid=11:coracao&Itemid=16#:~:text=A%20pectina%20C%3%A9%20um%20p%3%B3,%2C%20opalescente%2C%20coloidal%20e%20C%3%A1cida..) Acesso em: 24 set. 2024.

PALERMO, Jane Rizzo. **Análise sensorial: fundamentos e métodos**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 01 abr. 2024.

PIRES, Paloma de Souza *et al.* **Análise sensorial de suco de maçã de diferentes cultivares**. 2014. Disponível em: <https://ifpr.edu.br/sepin2014/anais-do-iii-se%2b2pin/analise-sensorial-de-suco-de-maca-de-diferentes-cultivares/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

SÁ, Daniela. **Sensorial**. 2021. Elaborada por Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/qualidade/sensorial#:~:text=A%20an%3%A1lise%20sensorial%20C%3%A9%20a,%2C%20audi%3%A7%3%A3o%2C%20tato%20e%20paladar..> Acesso em: 01 abr. 2024.

SAKAMOTO, Christiane Alves Calheiros *et al.* **Geleia de abacaxi: elaboração utilizando polpa e parte não convencional**. Uberaba: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2015. 6 p. Disponível em: <https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/boletimiftm/article/view/28>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SILVA, Laís Alves Santana da *et al.* Principais aplicações dos coprodutos da laranja e sua importância industrial. **Revista Artigos.Com**, Suzano, v. 22, p. 1-11, 20 nov. 2020. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/artigos/article/view/5139>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SOARES, Acir *et al.* Estudo do efeito de algumas variáveis de fabricação no perfil texturométrico do doce de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 1, n. 23, p. 76-80, abr. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/vyD8MLDL3hdZg34B4h4vXPt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2024.

SOUZA, Tercio da de *et al.* Uso de cascas de laranja para extração de óleo essencial e avaliação de suas atividades biológicas. **Revista Ifes Ciência**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 01-23, 25 mar. 2024. IFES – Instituto Federal do Espírito Santo. <http://dx.doi.org/10.36524/ric.v10i1.2419>. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/2419/1164>. Acesso em: 30 nov. 2024.

TEXTURE TECHNOLOGIES (Hamilton). **Overview of TPA**. 2024. Disponível em: <https://texturetechnologies.com/resources/texture-profile-analysis#overview>. Acesso em: 09 maio 2024.

USP. **Extração de pectina de laranja e maçã**. 2019. Elaborada pelo Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos no Departamento de Engenharia de Alimentos. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4668812/mod\\_resource/content/1/P3%20pectina.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4668812/mod_resource/content/1/P3%20pectina.pdf). Acesso em: 04 abr. 2024.

YUSOF, Nurlina *et al.* Texture profile analysis (TPA) of the jelly dessert prepared from halal gelatin extracted using High Pressure Processing (HPP). / **Malaysian Journal Of Fundamental And Applied Sciences**, [S. L.], v. 15, n. 4, p. 604-608, ago. 2019.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/340751082\\_Texture\\_Profile\\_Analysis\\_TPA\\_of\\_the\\_jelly\\_dessert\\_prepared\\_from\\_halal\\_gelatin\\_extracted\\_using\\_High\\_Pressure\\_Processing\\_HPP](https://www.researchgate.net/publication/340751082_Texture_Profile_Analysis_TPA_of_the_jelly_dessert_prepared_from_halal_gelatin_extracted_using_High_Pressure_Processing_HPP). Acesso em: 03 maio 2024.

ZANELLA, Karine. **Extração da pectina da casca da laranja-pêra (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com solução diluída de ácido cítrico**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em:

<https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=476787>. Acesso em: 24 mar. 2024

# Estudo de eficácia do processo de higienização da couve utilizando UV, ozônio e solução clorada

*Study of the effectiveness of the cabbage sanitation process using UV, ozone and chlorine solution*

## Engenharia de Alimentos

**Ilana Racowski** ([pro6389@cefsa.edu.br](mailto:pro6389@cefsa.edu.br))

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

**Camila Saldanha Santos** ([051200010@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:051200010@faculdade.cefsa.edu.br))

Bacharela em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Daiane Rodrigues Dantas** ([051200034@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:051200034@faculdade.cefsa.edu.br))

Bacharela em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Larissa de Melo Marques** ([051200035@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:051200035@faculdade.cefsa.edu.br))

Bacharela em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Sofia Arantes de Oliveira** ([051200045@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:051200045@faculdade.cefsa.edu.br))

Bacharela em Engenharia de Alimentos na Faculdade Engenheiro Salvador Arena

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025

• ISSN 2525-8729

Submissão: 11 mar. 2025 Aceitação: 3 jun. 2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 39 - 55

FTT JOURNAL  
of Engineering and Business



## Resumo

Procedimentos de sanitização desempenham um papel fundamental na garantia da qualidade microbiológica dos alimentos, sendo muitas vezes essenciais para a remoção de diversos contaminantes, tais como bactérias, fungos, vírus, parasitas e resíduos de pesticidas. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar a eficácia de dois métodos de sanitização alternativos — água ozonizada e radiação ultravioleta (UV) — em relação ao método convencional com solução de hipoclorito de sódio, aplicados em folhas de couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*). A aplicação da água ozonizada foi realizada à temperatura ambiente, utilizando uma concentração de 30 mg de O<sub>3</sub>/L durante 3 minutos. O tratamento com luz UV foi conduzido com uma dose de 1,62 kJ·m<sup>-2</sup> pelo mesmo período. Já o tratamento com hipoclorito de sódio seguiu as orientações do fabricante, com uma solução contendo 2,85% de cloro ativo, aplicada por 15 minutos. As análises microbiológicas foram realizadas ao longo de três semanas, utilizando os meios de cultura PCA (Plate Count Agar) para a quantificação de bactérias mesófilas totais e PDA (Potato Dextrose Agar) para a contagem de bolores e leveduras. Os resultados demonstraram que os tratamentos apresentaram eficácias distintas frente aos diferentes grupos microbianos analisados. Para as bactérias mesófilas totais, os métodos com água ozonizada e luz UV mostraram maior efetividade, promovendo reduções próximas a 2 ciclos logarítmicos na carga microbiana. Em contraste, no caso de bolores e leveduras, apenas o tratamento com água ozonizada apresentou resultado significativo, com redução de aproximadamente 1,2 ciclos logarítmicos.

**Palavras-chave:** Luz ultravioleta. Cloro. Sanitização. Bactérias. Bolores e Leveduras.

## Abstract

Sanitization procedures play a fundamental role in guaranteeing the microbiological quality of food and are often essential for removing various contaminants such as bacteria, fungi, viruses, parasites and pesticide residues. In this context, this study aimed to evaluate and compare the effectiveness of two alternative sanitization methods - ozonated water and ultraviolet (UV) radiation - in relation to the conventional method with sodium hypochlorite solution, applied to butter cabbage leaves (*Brassica oleracea* var. *acephala*). Ozonated water was applied at room temperature, using a concentration of 30 mg of O<sub>3</sub>/L for 3 minutes. The UV light treatment was carried out at a dose of 1.62 kJ·m<sup>-2</sup> for the same period. Treatment with sodium hypochlorite followed the manufacturer's guidelines, with a solution containing 2.85% active chlorine, applied for 15 minutes. Microbiological analyzes were carried out over three weeks, using PCA (Plate Count Agar) culture media to quantify total mesophilic bacteria and PDA (Potato Dextrose Agar) to count molds and yeasts. The results showed that the treatments had different efficacies against the different microbial groups analyzed. For total mesophilic bacteria, the ozonated water and UV light methods were most effective, promoting reductions of close to 2 logarithmic cycles in the microbial load. In contrast, in the case of molds and yeasts, only treatment with ozonated water showed significant results, with a reduction of approximately 1.2 logarithmic cycles.

**Keywords:** Chlorine. Sanitization. Kale. Ultraviolet light. Bacteria. Molds and Yeast.

# *Introdução*

Procedimentos de sanitização são muito importantes para garantir a qualidade microbiológica dos alimentos, de forma a não oferecer riscos à saúde do consumidor, sendo cruciais para a remoção de contaminantes, incluindo bactérias, vírus, parasitas e resíduos de pesticidas.

As hortaliças, por serem consumidas frequentemente cruas, estão mais suscetíveis à contaminação durante o cultivo, colheita, transporte e armazenamento (Madeira et al., 2013). Tendo isso em vista, é necessário cada vez mais o desenvolvimento e/ou melhoria de processos para garantir um alimento seguro (Brasil, 2022). A Resolução nº 52, de 29 de setembro de 2014, que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação, indica que os sanitizantes são “substâncias ou preparações destinadas à higienização, desinfecção ou desinfestação domiciliar, em ambientes coletivos e/ou públicos, em lugares de uso comum e no tratamento de água” (Brasil, 2014).

De acordo com estudos recentes, a higienização de hortaliças pode ser realizada por diversos métodos, sendo a utilização do cloro a mais comum (Siteo et al., 2025). Entretanto, a aplicação deste método, apesar de sua eficácia na redução da carga microbiana, tem sido questionada devido à formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana, como os trihalometanos, que estão associados a riscos potenciais à saúde (Bachelli, 2016; Cavalcante e Lima, 2023).

Como resposta a essas preocupações, novos métodos de higienização têm sido investigados e desenvolvidos. Entre eles, a utilização de radiação ultravioleta (UV) e ozônio tem ganhado destaque.

O ozônio é um gás instável naturalmente encontrado na atmosfera, que representa a estrutura triatômica do oxigênio ( $O_3$ ). A geração de ozônio começa com a divisão de uma molécula de oxigênio diatômico. O oxigênio livre produzido nesse processo pode reagir com outras moléculas de oxigênio, formando moléculas de ozônio (Silva, 2011).

A capacidade germicida do ozônio foi comprovada na França, no final do século XIX, quando seu uso como desinfetante no tratamento de água teve início (Lapolli et al., 2003; Rice et al., 1981). Desde então, o ozônio tem sido amplamente treinado e aplicado, especialmente na Europa, para a purificação e desinfecção de água, tendo sua primeira aplicação em grande escala no tratamento de água em 1893 em Oudshoorn, na Holanda (Lapolli et al., 2003; Langlais; Reckhow; Brink, 1991; Rice et al., 1981).

A radiação UV é compreendida como qualquer radiação eletromagnética com comprimento de onda entre 100 e 400 nanômetros (nm) e de frequência maior que a luz visível; é subdividida em três categorias, conforme recomendação da Comissão Internacional de Iluminação: UVC (100-280 nm), UVB (280-315 nm) e UVA (315-400 nm) (ICNIRP, 2004). Reconhecida como antimicrobiana há quase um século, a radiação UV-C, identificada em 1910, é a faixa de menor comprimento de onda e maior energia no espectro UV. Sua ação germicida ocorre pela capacidade de danificar o DNA e o RNA de microrganismos, promovendo a formação de dímeros de timina (Ramos, 2020). A radiação UV é eficaz na inativação de microrganismos patogênicos, porém sua eficiência pode ser limitada pela baixa penetração em alimentos com superfícies irregulares, que é o caso da couve, por ter algumas partes lisas e onduladas e com folhas mais grossas e fibrosas (Embrapa, 2009). Além disso, a exposição prolongada à luz UV pode causar degradação dos tecidos vegetais, o que tende a comprometer a qualidade do produto (Filho e Borges, 2020).

Por outro lado, a água ozonizada surge como uma alternativa promissora devido ao seu alto poder oxidante e à ausência de resíduos tóxicos após a aplicação. Estudos recentes indicam que a água ozonizada é eficaz na redução de patógenos em hortaliças, sem comprometer a qualidade sensorial do produto (O'Donnell et al., 2012; Bachelli, 2016). Além disso, por ser uma substância que se decompõe rapidamente em oxigênio, o ozônio não deixa resíduos químicos nos alimentos, tornando-se uma opção segura tanto para o consumidor quanto para o meio ambiente (Cavalcante e Lima, 2023).

De acordo com Silva e Bueno (2022), a importância da higienização de hortaliças é amplificada pelo aumento do consumo de alimentos frescos e minimamente processados, uma tendência que vem crescendo nos últimos anos. A busca por métodos de sanitização que sejam eficazes e seguros reflete a necessidade de atender a essa demanda, garantindo a segurança alimentar sem comprometer a qualidade nutricional e sensorial dos alimentos. Assim, a higienização adequada das hortaliças é um componente crucial pois contribui significativamente para a prevenção de doenças e promoção da saúde pública (Pandolfi; Moreira; Teixeira, 2020). Portanto, foi definido como objetivo deste trabalho, estudar a eficácia da água ozonizada e da radiação UV em comparação com o hipoclorito de sódio na higienização da couve-manteiga (*Brassica oleracea*).

## ***Metodologia***

### ***Resultados***

### ***Materiais***

A couve-manteiga utilizada para as análises foi obtida por meio de uma plantação de média escala localizada em Ibiúna, interior de São Paulo, onde o cultivo é realizado por replantio para a obtenção de novas folhas de couve.

Os equipamentos utilizados para o desenvolvimento do projeto foram: o Gerador de Ozônio Doméstico (Ozone Generator) 6000 mg O<sub>3</sub>/L, 8W e a Luz UV 9V.

Os meios de cultura utilizados foram o PCA (Plate Count Agar - Merck), para análise de Bactérias Mesófilas Totais (BMT), e o PDA (Potato Dextrose Agar - Merck), para as análises de Bolor e Levedura (BeL). Acrescentou-se ainda cloreto de sódio P.A para a preparação das soluções salinas estéreis a 0,85% e solução de hipoclorito de sódio, obtido através em uma entidade filantrópica, na concentração de 2,85% de cloro ativo, como especificado em sua embalagem.

## *Métodos*

### *Análises microbiológicas e preparo das amostras*

Os procedimentos analíticos para determinações microbiológicas foram extraídos de métodos padrão conforme a American Public Health Association (APHA) (2004). As análises microbiológicas foram realizadas semanalmente nas folhas de couve em um período de três semanas, sendo os resultados expressos pela média das contagens durante esse período.

De cada amostra de couve, foram retiradas assepticamente 25 g, que foram transferidas para béquer (2 L) previamente esterilizado em autoclave. A este béquer, foram adicionados 225 mL de solução salina 0,85% estéril, que, após homogeneização com as folhas, realizada com auxílio de um mixer (Moulinex) esterilizado anteriormente com álcool 70 %, resultou na diluição inicial denominada de 10<sup>-1</sup>. Em seguida, 1 mL desta primeira diluição foi transferido para um tubo contendo 9 mL de solução salina 0,85 % estéril, obtendo-se assim a diluição 10<sup>-2</sup>, e sucessivamente, até serem obtidas, pelo mesmo procedimento, as diluições 10<sup>-3</sup> e 10<sup>-4</sup>, que foram utilizadas em todas as determinações microbiológicas.

### *Enumeração de bactérias mesófilas totais*

Das diluições 10<sup>-3</sup> e 10<sup>-4</sup>, foram transferidos 1 mL para placas de Petri estéreis, respectivamente, utilizando-se o método de contagem em profundidade. Em seguida, para cada uma das placas, foram

adicionados cerca de 15 mL de meio de cultura PCA (Plate Count Agar - Merck) estéril, fundido e resfriado à temperatura em torno de 45°C. Após a homogeneização da amostra com o meio e solidificação do ágar em temperatura ambiente, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 35°C por 48 horas. Decorrido o tempo, as contagens das placas foram realizadas em contador de colônias, segundo técnica padrão, preferencialmente em placas contendo de 30 a 300 unidades formadoras de colônias.

A média do número de colônias contadas nas placas multiplicada pelo fator de diluição das amostras correspondentes fornece o número de bactérias totais mesófilas por grama de amostra.

### *Enumeração de bolores e leveduras*

Para a contagem de bolores e leveduras, foram adicionados cerca de 15 mL de meio de cultura PDA (Potato Dextrose Agar - Merck) estéril, fundido e resfriado à temperatura em torno de 45°C em placas de Petri. Após a solidificação do ágar em temperatura ambiente, com o auxílio de uma alça de Drigalski, foi espalhado 0,1 mL de cada diluição (diluição  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ ). Em seguida, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 25°C por 72 horas. Decorrido o tempo, as contagens das placas foram realizadas em contador de colônias, segundo técnica padrão, preferencialmente em placas contendo de 25 a 250 unidades formadoras de colônias.

A contagem total de bolores e leveduras foi realizada pela multiplicação da média dos números de unidades formadoras de colônias pelo fator de diluição das amostras correspondentes.

### *Processo de sanitização*

Para a sanitização da couve-manteiga utilizaram-se três diferentes formas, sendo elas: o uso do hipoclorito de sódio, o ozônio e a luz UV, além da folha de couve-manteiga controle, que não passou por nenhuma sanitização, a qual somente foi adicionada a um béquer esterilizado e misturada com auxílio de um Mixer (Moulinex) à solução salina 0,85 % estéril, conforme descrito no item 2.2.1.

Para a sanitização da couve-manteiga pelo método tradicional, que foi o uso de hipoclorito de sódio, 25 g da folha foi imersa em um béquer (2 L) com 1 L água filtrada com a adição de 20 gotas do hipoclorito de sódio (1 mL) com concentração de 2,85 % de cloro ativo. Logo, as equações abaixo demonstram a quantidade de partes por milhão (ppm) final na solução sanitizante:

**Equação 1:** Massa de cloro ativo

$$1,0 \text{ g} \cdot \frac{2,85}{100} = 0,0285 \text{ g} = 28,5 \text{ mg}$$

**Equação 2:** Concentração de cloro ativo na solução

$$ppm = \frac{\text{massa de cloro ativo (mg)}}{\text{massa da solução (kg)}} = \frac{28,5 \text{ mg}}{1 \text{ kg}} = 28,5 \text{ ppm}$$

Portanto, com a solução com 28,5 ppm, a folha da couve ficou por um tempo padrão de 15 min., seguindo a instrução de higienização de alimentos da embalagem do sanitizante.

Após o tempo determinado, as folhas foram retiradas utilizando-se luvas higienizadas com álcool 70 % e trituradas juntamente com 225 mL de solução salina estéril a 0,85 %, em um béquer de 2 L previamente esterilizado em autoclave, em um mixer da marca Moulinex, também esterilizado com álcool 70%.

Para o processo de higienização com ozônio (O<sub>3</sub>), as folhas de couve-manteiga foram imersas em um béquer com capacidade de 2 L contendo 1 L de água comum filtrada à temperatura ambiente. Uma mangueira com pedra porosa na extremidade foi inserida no recipiente, permitindo a difusão do ozônio na água. A produção de ozônio foi realizada por um gerador com capacidade de 600 mg de O<sub>3</sub>/L, 8 W, ativado ao ser conectado à tomada. As folhas permaneceram imersas por 3 minutos, conforme o protocolo utilizado por Kim et al. (1999) para alface.

Em seguida, 25 g das folhas já higienizadas foram transferidas para um béquer de 1 L esterilizado, junto com 225 mL de solução salina estéril a 0,85 %, para a preparação da diluição 10<sup>-1</sup>. A mistura foi homogeneizada utilizando novamente o mixer esterilizado com álcool 70%.

Para a sanitização com luz ultravioleta (UV), optou-se por um equipamento de baixo custo, comumente utilizado em aquários, por ser acessível ao uso doméstico. Em um béquer com capacidade de 2 L, contendo 1 L de água comum filtrada à temperatura ambiente, foram imersos 25 g de folhas de couve-manteiga juntamente com o equipamento emissor de luz UV, mantendo-se o contato por 3 minutos, conforme o tempo padronizado na higienização com ozônio. Decorrido o tempo de exposição, as folhas foram retiradas e transferidas para um béquer esterilizado de 2 L. A seguir, procedeu-se da mesma forma descrita anteriormente para a preparação da diluição 10<sup>-1</sup>: foram adicionados 25 g da amostra a 225 mL de solução salina estéril a 0,85 %, homogeneizando-se a mistura com auxílio de um mixer previamente higienizado com álcool 70 %, visando à realização das análises microbiológicas.

### *Análise de dados*

Os dados resultantes das contagens microbiológicas foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey-HSD a 5% de significância realizada no Software Action Stat (versão 3.7).

## *Resultados e discussões*

Os resultados obtidos neste estudo consideraram a redução da carga microbiana promovida pelos tratamentos aplicados, com base na contagem de bactérias mesófilas totais, bolores e leveduras, em comparação ao grupo de controle. Apesar da amostragem envolver um material vegetal naturalmente heterogêneo, foram adotados cuidados metodológicos, como a coleta padronizada de folhas internas da couve-manteiga (*Brassica oleracea* var. *acephala*), por se tratar de estruturas potencialmente menos expostas a pragas e contaminantes ambientais.

A coleta das amostras foi realizada de forma sistemática, sempre na mesma área do cultivo e com o mesmo procedimento, visando reduzir a variabilidade experimental e aumentar a reprodutibilidade dos dados.

No que diz respeito à sanitização com ozônio e luz ultravioleta (UV), verificou-se uma lacuna na literatura científica referente à aplicação desses tratamentos em folhas de couve-manteiga. Diante disso, o tempo de exposição ao ozônio foi baseado no estudo de Kim et al. (1999), que estabeleceu três minutos como tempo ideal para a sanitização de alface (*Lactuca sativa*). Tal parâmetro foi adotado neste experimento, com o objetivo de avaliar sua eficácia na couve-manteiga. No entanto, é importante destacar que, apesar de ambas pertencerem à família Asteraceae, essas hortaliças apresentam características morfofisiológicas distintas. A alface possui folhas mais finas e delicadas, o que a torna mais suscetível a danos mecânicos e degradação. Em contraste, a couve-manteiga apresenta folhas mais espessas e robustas, conferindo-lhe maior resistência física e durabilidade pós-colheita.

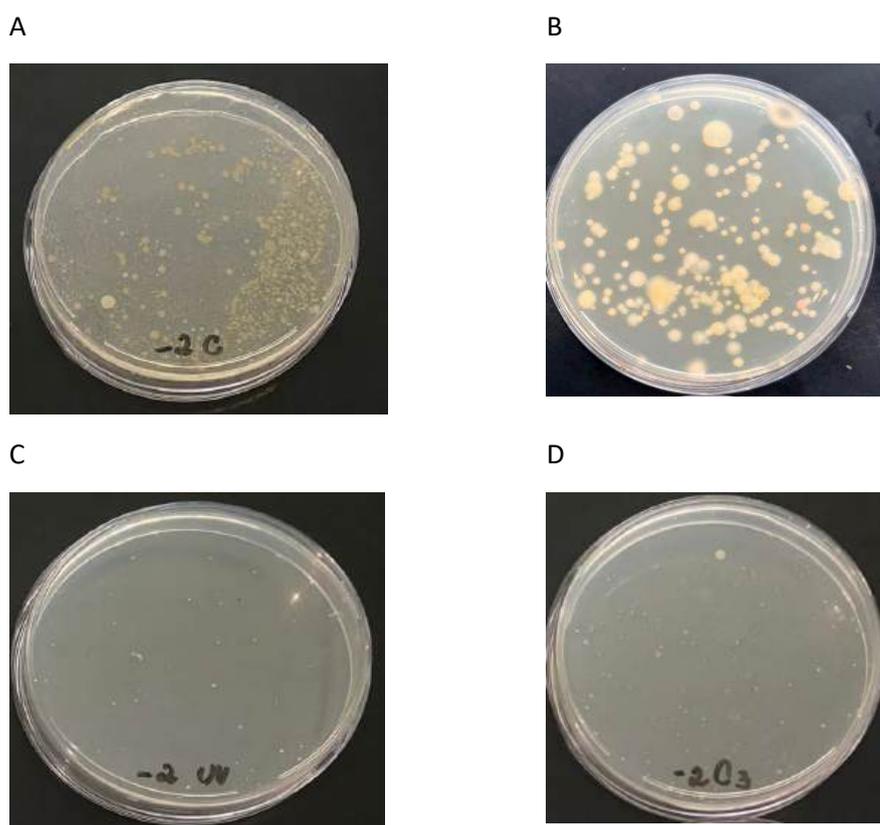
### *Contagem de bactérias mesófilas totais*

A legislação brasileira ainda não define limites para a contagem total de bactérias mesófilas em hortaliças frescas; no entanto, essa avaliação é amplamente utilizada como um parâmetro de qualidade microbiológica geral dos alimentos (ICMSF, 2002). De acordo com os critérios estabelecidos pelo ICMSF

(2002), é permitido um máximo de 7,0 log UFC/g de bactérias totais nos produtos alimentícios, e após a desinfecção dos vegetais, espera-se uma diminuição da carga microbiana para, no mínimo, de 5 log UFC/g.

Após 48 horas em estufa, as placas com o meio de cultura PCA para contagem de BMT (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D), contendo 1 ml de alíquota da amostra diluída em solução salina 0,85 % estéril das folhas de couve-manteiga higienizadas, foram contadas para quantificar o número de bactérias mesófilas totais (Tabela 1). De acordo com Barbosa et al. (2017), alguns fatores contribuem para a proliferação de microrganismos nos vegetais, como o período estendido de conservação. No estudo conduzido por Allende; Aguayo; Artés (2004), os itens minimamente processados mostraram um crescimento de 5,0 para 8,0 log UFC/g na quantidade de microrganismos, após uma semana de armazenamento a 5°C. Para este projeto, as couves foram colhidas da plantação, armazenadas por dois dias a 4°C e analisadas de acordo com a quantidade de bactérias mesófilas totais perfazendo um prazo menor de estocagem em relação ao estudado pelos autores acima, justificando possivelmente uma concentração dos microrganismos ligeiramente superior ao referido 5 log UFC/g (contagem média de BMT 5,54 log UFC/g).

Figura 1 - Crescimento de bactérias mesófilas totais resultantes de análise utilizando diluição seriada em profundidade. **A.** Placa com meio PCA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga sem higienização. **B.** Placa de meio PCA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga higienizada com hipoclorito de sódio. **C.** Placa de meio PCA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga higienizada com luz UV. **D.** Placa de meio PCA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga higienizada com água ozonizada.



Fonte: elaboração das autoras (2024).

Tabela 1 - Média de contagem final de bactérias mesófilas totais por UFC/g e Log (UFC/g)

Tratamento	Contagem média de bactérias mesófilas totais	
	(UFC/g)	Log (UFC/g)
Controle	3,50E+05 <sup>a</sup>	5,5 ± 0,9
Hipoclorito de sódio	1,80E+05 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,3
Ozônio	7,50E+03 <sup>b</sup>	3,9 ± 0,5
Luz UV	6,20E+03 <sup>b</sup>	3,8 ± 0,3

\*Letras distintas na mesma coluna diferem significativamente a  $p < 0,05$ .

Fonte: elaboração das autoras (2024).

Ao realizar a comparação de contagem de bactérias mesófilas totais por grama de couve é possível verificar que os tratamentos utilizando a água ozonizada e a luz UV são eficazes quando se fala de redução de carga microbiana de bactérias. São dois tratamentos distintos, que utilizam mecanismos diferentes de atuação para a morte microbiana; de acordo com Andrade e Macêdo (1996), a luz UV induz alterações fotobioquímicas nos microrganismos, comprometendo sua viabilidade e levando à morte celular; por sua vez, segundo Traore et al. (2020), a água ozonizada age por meio da oxidação gradual de componentes celulares essenciais, resultando na eliminação dos microrganismos. Porém, não possuem diferença significativa nos valores finais de UFC por grama de amostra ( $p < 0,05$ ), fato que já não pode ser observado no caso do hipoclorito de sódio, o qual não teve diferença significativa, ao nível de 0,05 em relação ao controle.

Dessa forma, pode-se dizer que, no caso deste estudo, a ação do hipoclorito foi nula, não servindo como agente sanitizante quando aplicado na concentração e no tempo estipulado pelo fabricante.

No caso da sanitização utilizando hipoclorito de sódio, quando produtos clorados estão presentes em soluções aquosas, é liberado o ácido hipocloroso, que apresenta ação germicida. A ação dele nas células de microrganismos, tanto em bactérias quanto em bolores e leveduras, consiste na reação do ácido com múltiplas biomoléculas, como lipídios, aminoácidos, proteínas, peptídeos e ácidos nucleicos, atingindo muitas estruturas e compostos celulares, como a parede celular, as membranas celular e mitocondrial, enzimas e até o DNA dos microrganismos (Grosso et al., 2021).

A partir dos dados da Tabela 1 e da Figura 1B, observa-se o crescimento de bactérias tanto em valor quanto nas placas presentes na folha de couve-manteiga higienizada com esse agente, que, comparado com os

outros meios de sanitização (ozônio e UV), pode ser considerado um valor alto. Porém, apesar da baixa eficácia observada do hipoclorito de sódio, na primeira semana de análises foi obtido um resultado positivo na redução de bactérias mesófilas, que foi a primeira análise realizada, onde o log de UFC/g do controle foi de 6,1, e o do hipoclorito, 5,0, observando-se então uma redução de 1,1 ciclos logarítmicos em comparação com o controle; mas, com o passar do tempo, os resultados das análises começaram a mostrar altas quantidades de bactérias com o sanitizante. Portanto, essa observação pode ser explicada pela instabilidade do hipoclorito de sódio, que, com o passar do tempo, de acordo com Prado et al. (2012), o cloro na solução se degrada, perdendo gradativamente a sua eficácia antimicrobiana. Isso deve ser levado em conta já que a solução de hipoclorito foi adquirida sem custo em uma instituição filantrópica; além disso, apesar de estar dentro do prazo de validade, a embalagem possuía uma tampa de plástico rígido branco, que, após aberta, não ofereceu a devida vedação, permitindo a entrada de ar.

Já o tratamento utilizando a luz UV, de acordo com Andrade e Macêdo (1996), provoca alterações fotobioquímicas nos microrganismos, sendo absorvidos pelas bases purínicas e pirimidíacas constituintes do DNA, resultando em mutações irreversíveis que promovem a inviabilidade ou morte do microrganismo. Os resultados da contagem de bactérias mesófilas totais utilizando esse método mostram uma média de  $6,2 \times 10^3$  UFC/g, sendo inferior às contagens que usam como método de desinfecção o cloro. Vale dizer que sua aplicação no processo de higienização alcançou uma redução de quase dois ciclos logarítmicos em relação ao controle.

O uso de água ozonizada na higienização, por sua vez, mostrou-se eficaz na redução da carga de bactérias mesófilas, com uma contagem média de  $7,4 \times 10^3$  UFC/g, obtida a partir das medições realizadas ao longo de três semanas de análise, indicando uma diminuição significativa, de cerca de 1,6 ciclos logarítmicos em relação a controle. Um dos resultados é demonstrado na Figura 1D, o qual mostra o crescimento das bactérias totais na placa da diluição  $10^{-2}$ . Esses resultados reforçam o potencial do ozônio como um agente sanitizante eficiente para hortaliças.

Segundo Traore et al. (2020), devido à sua elevada atividade oxidante, o ozônio tem sido associado à indução de alterações fisiológicas, químicas e microbianas em produtos frescos. Além disso, sua ação elimina microrganismos ao promover a oxidação progressiva de componentes celulares essenciais. Dessa forma, o prolongamento do tempo de tratamento intensifica o efeito oxidativo, favorecendo uma redução logarítmica em produtos tratados com água ozonizada.

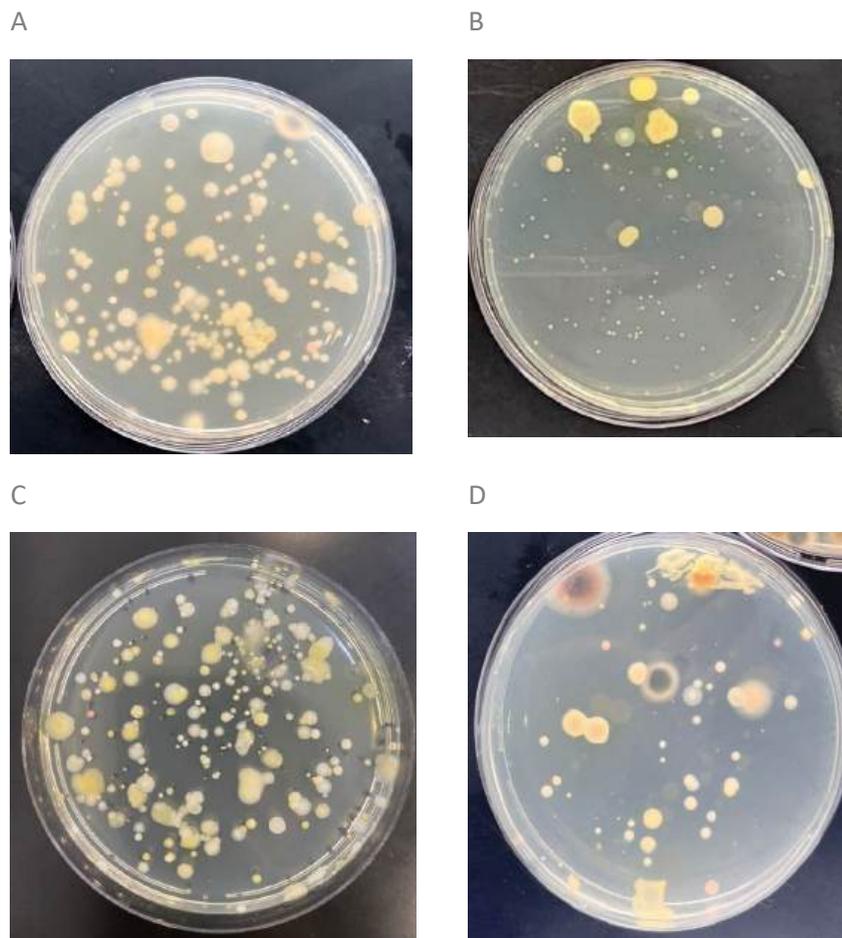
Ao comparar os resultados deste estudo com os de Silva (2023), que avaliou a higienização de folhas de alface em água ozonizada por 5 min., com uma redução de carga microbiana de 1,4 ciclos logarítmicos, observa-se que a higienização da couve-manteiga por 3 min. no presente estudo resultou em uma redução de carga microbiana muito semelhante, com redução de 1,6 ciclos logarítmicos. Esse dado comprova que o uso de ozônio para higienização é eficaz na redução de bactérias mesófilas, assim como o uso da luz UV.

### *Análise de bolor e leveduras*

Diferentemente da análise de BMT, na análise de bolores e leveduras (Figura 2), o único agente sanitizante que teve efeito sobre a concentração desses microrganismos foi o ozônio (Tabela 2). Os tratamentos utilizando hipoclorito de sódio e luz UV não mostraram diferença significativa entre si e nem em relação ao controle para a contagem média de bolores e leveduras ao nível de significância de 0,05. Porém, vale dizer que, mesmo apresentando redução de concentração de bolores e leveduras, o tratamento utilizando o ozônio não foi tão efetivo quanto a sua ação nas bactérias, já que a diminuição de concentração microbiana não chegou nem a 1.5 ciclo logarítmico.

Segundo Silva Júnior (2008), são consideradas altas contagens de bolores e leveduras valores acima de  $5.10^5$  UFC/g, indicando, pelo mesmo autor, a ocorrência de prática inadequada de higiene no processamento. De acordo com a Tabela 2, assim como na contagem de bactérias mesófilas, houve tratamento de higienização eficaz, porém, o que se percebe é que a contaminação inicial da couve não é considerada muito alta, corroborando provavelmente a ideia exposta por Allende; Aguayo; Artés (2004).

Figura 2 - Crescimento de bolores e leveduras resultante de análise utilizando diluição seriada em superfície. **A.** Placa com meio PDA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga sem higienização. **B.** Placa de meio PDA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga higienizada com hipoclorito de sódio. **C.** Placa de meio PDA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga higienizada com luz UV. **D.** Placa de meio PDA da diluição  $10^{-2}$  da couve-manteiga higienizada com água ozonizada.



Fonte: elaboração das autoras (2024).

Tabela 2 - Média de contagem final de bolores e leveduras por UFC/g e Log (UFC/g)

Tratamento	Contagem média de bolores e leveduras	
	(UFC/g)	Log (UFC/g)
Controle	4,15E+05 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,9
Hipoclorito de sódio	1,78E+05 <sup>a</sup>	5,3 ± 0,3
Luz UV	1,78E+05 <sup>a</sup>	5,6 ± 0,5
Ozônio	2,52E+04 <sup>b</sup>	4,4 ± 0,2

\*Letras distintas na mesma coluna diferem significativamente a  $p < 0,05$ .

Fonte: elaboração das autoras (2024).

De acordo com o estudo de Bachelli (2016), no qual foi avaliada a eficácia de diferentes métodos de sanitização em produtos minimamente processados, como alface e mamão, os resultados demonstraram que a radiação UV apresentou uma eficiência menor quando comparada com a água ozonizada, estando esse resultado de acordo com o que foi estudado no presente trabalho. Ademais, segundo estudo de Silva et al. (2017), em que foi avaliada a eficiência do UV na inibição do crescimento de leveduras, foi observado

que o UV não teve a mesma eficiência para todas as leveduras avaliadas. Este argumento foi reforçado por uma pesquisa da Embrapa (2019), na qual foi analisado o efeito do UV no controle de *Aspergillus flavus* e de contaminantes naturais na castanha, sendo observada uma redução menor de bolores quando comparado com a sua eficiência em bactérias. Adicionalmente, o estudo cita que a eficiência do processo depende da espécie estudada, demonstrando que algumas espécies podem ser mais resistentes do que outras, tornando-se necessária uma dose maior de radiação ou um maior tempo de exposição.

Já a não redução do número de bolores e leveduras com o uso de hipoclorito de sódio segue o mesmo resultado obtido na enumeração de bactérias mesófilas, tendo em vista a instabilidade associada ao cloro conforme sua armazenagem, associado ao problema com a vedação da embalagem do hipoclorito de sódio utilizado para este trabalho.

## *Considerações finais*

Com base nos resultados obtidos nas análises de eficácia de diferentes métodos de higienização em folhas de couve, pôde-se concluir que os métodos avaliados apresentaram resultados distintos quando comparados em termos de sua eficiência na redução de bactérias mesófilas e bolores e leveduras.

No que se refere à redução de bactérias mesófilas, os tratamentos com luz UV e ozônio se destacaram pela sua eficácia. A luz UV foi tão eficiente quanto o método utilizando o ozônio, enquanto o hipoclorito de sódio não demonstrou uma redução significativa na carga bacteriana, apresentando resultados semelhantes aos do controle. Esse baixo desempenho pode ser explicado pela instabilidade do hipoclorito de sódio, que compromete sua ação, o que justifica a ausência de redução significativa nas contagens bacterianas em comparação aos outros métodos.

Já em relação à redução de bolores e leveduras, o ozônio foi o tratamento mais eficaz, diferente da luz UV e do hipoclorito de sódio, que não apresentaram redução relevante desses microrganismos.

Os custos para higienizar hortaliças podem variar bastante dependendo do método usado. Contudo, futuros estudos sobre viabilidade econômica são necessários para compreender melhor os custos envolvidos em cada método, considerando-se não apenas o investimento inicial, mas também as despesas de manutenção e operação ao longo do tempo.

Em suma, os métodos de higienização testados e da forma como foram analisados levaram a crer que, levando-se em conta os microrganismos estudados, o melhor tratamento de sanitização seria a imersão das folhas de couve-manteiga por 3 min. em presença da água ozonizada, visto que ele se mostrou eficiente tanto na redução do número de bactérias quanto no número de leveduras. Em relação ao tratamento com luz UV, talvez para sua maior efetividade seria necessária a utilização de mais tempo de contato com a folha, para poder atingir de maneira mais eficaz os bolores e leveduras; entretanto, no que concerne à utilização desse método, seriam necessários mais estudos devido à sua capacidade de interferência no DNA do alimento.

Por fim, o uso de hipoclorito de sódio apresentou limitações no estudo aqui desenvolvido, visto que o esperado para ele seria uma alta eficácia na eliminação tanto de bactérias quanto de bolores e leveduras; contudo, o resultado não foi atingido devido a problemas relacionados à embalagem. Porém, já é possível pensar nessa instabilidade do cloro como um ponto negativo desse sanitizante, visto o quanto sua eficácia foi afetada devido ao problema detectado.

## *Referências*

ALLENDE, A.; AGUAYO, E.; ARTÉS, F. **Microbial and sensory quality of commercial fresh processed red lettuce throughout the production chain and shelf life**. International Journal of Food Microbiology, Amsterdam, v. 91, p. 109-117, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14996454/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION –WEF. **Standard methods for the examination of dairy products**. 17th Ed. Washington DC, p.552, 2004. Disponível em: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2329795>. Acesso em: 09 abr. 2024.

ANDRADE, Nélio José de; MACÊDO, Jorge Antônio B. de. **Higienização na Indústria de Alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1996.

BACHELLI, T. P. **Avaliação da radiação ultravioleta C e água ozonizada para sanitização de alface e mamão minimamente processados**. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br>. Acesso em: 22 nov. 2024.

BARBOSA, Talita Araújo et al. **Avaliação microbiológica de couve minimamente processada comercializada em supermercados de Brasília**, DF. Higiene Alimentar, v. 31, n. 272/273, 2017. Disponível em: <https://docs.bvsalud.org/biblioref/2017/12/876174/272-273-p-97-101.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde, 2014. **Portaria nº 650 da ANVISA**, de 29 de maio de 2014. Disponível em: [https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3637614/RDC\\_52\\_2014\\_.pdf/ca9f2f97-a99a-4e778ed0-302f19faa714](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3637614/RDC_52_2014_.pdf/ca9f2f97-a99a-4e778ed0-302f19faa714). Acesso em: 19 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Livro Boas Prática Agrícolas para a produção de Alimentos Seguros**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2022.

CARDOSO, C. C.; VEIGA, S. M. O. M.; NASCIMENTO, L. C.; FIORINI, J. E.; AMARAL, L. A. **Avaliação microbiológica de um processo de sanificação de galões de água com a utilização do ozônio.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 23, n. 1, p. 59-61, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/Fyv8jMQtzhsSZjPg5nQC/>. Acesso em: 20 out. 2024.

CAVALCANTE, Maria Leidiane; LIMA, Jorgiane da Silva Severino. **A utilização do ozônio como sanitizante na indústria de alimentos: uma revisão narrativa.** *Nutrivisa-Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde*, v. 10, n. 1, p. e12097-e12097, 2023. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/nutrivisa/article/view/12097/10401>. Acesso em: 18 mar. 2024.

EMBRAPA. **Couve-manteiga.** [S. l.], 09 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/782570/1/digitalizar0195.pdf#:~:text=Essas%20possuem%20folhas%20verdeclaro%2C%20tenras%2C%20lisas%20ou%20pouco,de%20couve-manteiga%20s%C3%A3o%20comercializadas%20na%20forma%20de%20ma%C3%A7o>. Acesso em: 17 nov. 2024.

EMBRAPA. **Radiação ultravioleta C no controle de *Aspergillus flavus* Link e de outros contaminantes da castanha-do-brasil.** Embrapa Meio Ambiente, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/201110/1/boletim-82-daniel.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2024.

FDA, **Secondary Direct Food Additives Permitted in Food for Human Consumption**, Federal Register 66(123):33829-33830, 2001. Disponível em: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2001-0626/pdf/01-15747.pdf#page=2>. Acesso em 21 mar. 2024.

FILHO, Clóvis Antônio Balbinot; BORGES, Caroline Dellinghausen. **Efeitos da radiação UV-C em alface e maçã minimamente processadas: uma revisão.** *Brazilian Journal of food technology*, [S. l.], v. 23, p. 1-13, 8 jun. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/mrM7c4RYQ6PZb5MRmHg94yQ/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 30 maio 2024.

GIESE, Arthur C.; CHRISTENSEN, Eleanor. **Effects of ozone on organisms.** *Physiological Zoology*, v. 27, n. 2, p. 101-115, 1954. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/physzool.27.2.30154518>. Acesso em: 24 out. 2024.

GROSSO, Camilla; DE MONTE, Chiara; CORAZZA, Michela; FALSETTI, Paola; PESCE, Massimiliano; SANTINELLO, Massimo. **Antimicrobial activity of sodium hypochlorite in medical and environmental applications.** *Biosurface and Biotribology*, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 42-56, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1749461321000440>. Acesso em: 14 nov. 2024.

ICMSF, Internacional Commission on Microbiological Specifications for Foods. **Microrganisms in Foods 7: Microbiological testing in food safety management.** New York: Kluwer Academic, 2002.

KIM, J.-G.; Yousef, A.E.; Chism, G.W. **Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce.** *J. Food Safety* 19:17-34, 1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1745-4565.1999.tb00231.x>. Acesso em: 10 set. 2024.

LANGLAIS, B.; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R. **Ozone in water treatment: application and engineering.** Chelsea: AWWARF and Lewis Publishers, 1991. 568 p.

LANITA, C. S.; SILVA, S. B. **Uso de ozônio em câmara industrial para controle de bolores e leveduras durante a maturação de queijo tipo parmesão.** *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 11, n. 3, p. 182-189, jul./set. 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/256088560\\_Uso\\_de\\_ozonio\\_em\\_camara\\_industrial\\_para\\_controle\\_de\\_bolores\\_e\\_leveduras\\_durante\\_a\\_maturacao\\_de\\_queijo\\_tipo\\_parmesao](https://www.researchgate.net/publication/256088560_Uso_de_ozonio_em_camara_industrial_para_controle_de_bolores_e_leveduras_durante_a_maturacao_de_queijo_tipo_parmesao). Acesso em: 13 set. 2024.

LAPOLLI, Flávio Rubens et al. **Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. Desinfecção de Efluentes Sanitários.** Tradução. Rio de Janeiro: ABES, 2003. Disponível em:

<https://repositorio.usp.br/directbitstream/060d3863-61cc-4b78-8000-61d05747a17b/Piveli-2003-Desinfeccao.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2024.

MADEIRA, Nuno Rodrigo; SILVA, Paula Cristina; BOTREL, Neide; MENDONÇA, José Lindorico de; SILVEIRA, Georgeton Soares Ribeiro; PEDROSA, Marinalva Woods. **Manual de produção de hortaliças tradicionais**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 156 p.

O'DONNELL, C.; TIWARI, B.K; CULLEN, P.J.; RICE, R.G. **Ozone in Food Processing**, Ed. Blackwell Publishing Ltd. 1.ed., 2012.

PANDOLFI, I. A., Moreira, L. Q., & Teixeira, E. M. B. (2020). **Segurança alimentar e serviços de alimentação - revisão de literatura**. Brazilian Journal of Development, 6(7), 42237-42246. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/12477>. Acesso em: 12 de mai. de 2024.

PRADO, Maíra do; FIGUEIREDO, João Paulo de Oliveira; PIRES, Dilson Coimbra de Almeida; CORRÊA, Ana Carolina Pimentel; ARAÚJO, Marcos Cesar Pimenta de. **Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento na estabilidade química de soluções de hipoclorito de sódio**. Revista de Odontologia da UNESP, v. 41, n. 4, p. 242-246, 2012. Disponível em: <https://revodontolunesp.com.br/article/5880192c7f8c9d0a098b5006/pdf/rou-41-4-242.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2024.

RAMOS CC, ROQUE JL, SARMIENTO DB, SUAREZ LE, SUNIO JT, TABUNGAR KI, et al. **Use of ultraviolet-C in environmental sterilization in hospitals: a systematic review on efficacy and safety**. Int J Health Sci (Qassim). 2020;14(6):52–65. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7644456/pdf/IJHS-14-52.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2024.

RICE, R. G.; ROBSON, C. M.; MILLER, G. W.; HILL, A. B. **Uses of ozone in drinking water treatment**. Journal of the American Water Works Association, Denver, v. 73, n. 1, p. 44-47, 1981.

SILVA, B. S. **Potencialidade do uso do ozônio no processamento de alimentos**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, n. 2, p. 659-682, abr/jun. 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744101026.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2024.

SILVA JUNIOR, E. A. **Manual de controle higiênico-sanitário em serviços de alimentação**. São Paulo: Varela editora e livraria Ltda. 6 ed. 2008.

SILVA, A. L.; SERRA, E. F.; RIPOLL, M. K.; WALLER, S. B.; OSÓRIO, L. DA G.; GOMES, A. DOS R.; FARIA, R. O. DE; MEIRELES, M. C. A. **Luz ultravioleta na inibição do crescimento de leveduras**. Science and Animal Health, v. 5, n. 2, p. 101-111, 6 nov. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/veterinaria/article/view/10051>. Acesso em: 22 nov. 2024.

SILVA, Marcia Joaquim da. **Água ozonizada em sistema com microbolha na qualidade microbiológica e físico-química de alface**. 2023. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/31729/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2024.

SILVA, Natielly Candido da; BUENO, Silvia Messias. **Alimentos minimamente processados: tendência de mercado no século XXI**. Revista Científica UNILAGO, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-12, 14 jan. 2022. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revistacientifica/article/view/643>. Acesso em: 12 maio 2024.

SITOE, E. DA P. E.; PACHECO, F. C.; CHILALA, F. D. **Advances in Ozone Technology for Preservation of Grains and End Products: Application Techniques, Control of Microbial Contaminants, Mitigation of Mycotoxins**. Impact on Quality, and Regulatory Approvals. Compr Rev Food Sci Food Saf, v. 24, n. 3, 2025. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70173>

TRAORE MB, Sun A, Gan Z, et al. **Assessing the impact of the combined application of ultrasound and ozone on microbial quality and bioactive compounds with antioxidant attributes of cabbage (Brassica Oleracea L. Var. Capitata)**. WILEY - Journal of Food Processing and Preservation, [S. l.], p. 1-11, 2p6 jun. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfpp.14779>. Acesso em: 16 nov. 2024.

# Digital twins: estratégias para redução de tempo de resposta utilizando computação em borda

*Digital twins: strategies for reducing response time using edging computing*

## Engenharia de Computação

**Fábio Henrique Cabrini** ([pro7799@cefsa.edu.br](mailto:pro7799@cefsa.edu.br))

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

**Caio Rodrigues Fernandes Santos** ([caio.2003.rfs@gmail.com](mailto:caio.2003.rfs@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Carlos Eduardo Vieira Santos** ([cadu.vs@hotmail.com](mailto:cadu.vs@hotmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Guilherme Dias Lima Turtera** ([081200007@faculdade.cefsa.edu.br](mailto:081200007@faculdade.cefsa.edu.br))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Nathan Vilela de Souza** ([nathanvilela18@gmail.com](mailto:nathanvilela18@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025
- ISSN 2525-8729

Submissão: 13 dez. 2024 Aceitação: 28 maio 2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 56 - 75

FTT JOURNAL  
of Engineering and Business



## *Resumo*

Este estudo investiga estratégias para reduzir o tempo de resposta na arquitetura de comunicação de uma prova de conceito de gêmeos digitais, desenvolvida para sincronizar um braço robótico com sua versão virtual. O projeto original foi reproduzido de forma fidedigna, e observou-se que ele apresentava um tempo de resposta elevado durante a comunicação entre os gêmeos digitais, limitando sua aplicabilidade em contextos nos quais a velocidade da resposta é um fator determinante. Para mitigar esse desafio, foram implementadas duas modificações: a reformulação do fluxo de comunicação entre os gêmeos, reduzindo atrasos na transmissão, e a realocação do servidor da nuvem para a borda da rede. Os testes seguiram duas abordagens distintas: uma quantitativa, utilizando o tempo de ida e volta como métrica principal, e uma qualitativa, com a aplicação de um teste A/B para medir a percepção dos usuários quanto às melhorias. Os resultados indicaram que a arquitetura baseada em borda proporciona tempos de resposta significativamente mais rápidos, demonstrando o impacto positivo da localização do servidor na eficiência do sistema. Assim, o trabalho contribui para a crescente pesquisa sobre computação de borda, abrindo caminho para aplicações mais responsivas da Internet Tátil, especificamente em sistemas de gêmeos digitais.

**Palavras-chave:** Gêmeos Digitais, Computação em Borda. Tempo de Resposta, Internet Tátil.

## *Abstract*

This study investigates strategies to reduce response time in the communication architecture of a digital twin proof of concept, developed to synchronize a robotic arm with its virtual version. The original project was faithfully reproduced, and it was observed that it exhibited a high response time during communication between the digital twins, limiting its applicability in contexts where response speed is a critical factor. To address this challenge, two modifications were implemented: a restructuring of the communication flow between the twins to reduce transmission delays, and the relocation of the server from the cloud to the network edge. The tests followed two distinct approaches: a quantitative approach, using round-trip time as the primary metric, and a qualitative approach, applying an A/B test to assess user perception of the improvements. The results indicate that the edge-based architecture provides significantly faster response times, highlighting the positive impact of server location on system efficiency. Thus, this work contributes to the growing research on edge computing, paving the way for more responsive applications of the Tactile Internet, specifically in digital twin systems.

**Keywords** Digital Twins. Edge Computing. Response Time. Tactile Internet.

# Introdução

A crescente tendência à transformação digital tem reconfigurado o panorama das indústrias, causando mudanças profundas e permanentes. A internet e a digitalização de processos têm se consolidado como catalisadores centrais para inovações nas áreas de manufatura e produção. Mais do que simplesmente aprimorar operações já existentes, essas tecnologias pavimentam o caminho para novos métodos de produção e estratégias de gestão industrial. Esse movimento é significativo a ponto de ser considerado a quarta Revolução Industrial, caracterizada principalmente pelo advento das fábricas inteligentes (Moraes, 2020).

Essa nova fase, também conhecida como Indústria 4.0, é impulsionada por avanços tecnológicos em múltiplos setores, em especial nas áreas de Engenharia e Tecnologia da Informação. Entre as principais inovações que sustentam essa revolução, destaca-se a Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), que possibilita que dispositivos atuem de forma autônoma e descentralizada, aumentando a eficiência de processos produtivos e gerando dados para embasar decisões estratégicas da gestão (Sátyro *et al.*, 2018).

Nesse contexto de fusão entre o digital e o físico, surge o conceito de gêmeos digitais (DT, do inglês *Digital Twins*): réplicas de elementos físicos que simulam suas condições e comportamentos de forma simultânea. Com essa tecnologia, empresas podem antecipar problemas e experimentar novas ideias e estratégias em um ambiente controlado e seguro, sem interromper os processos existentes e reduzindo custos materiais decorrentes desse processo (Tao *et al.*, 2019).

Embora apresentem um potencial transformador, muitas dessas aplicações possuem requisitos rigorosos de tempo de resposta, especialmente em cenários como fábricas inteligentes, cirurgia robótica e operações médicas remotas. Nesses cenários, atrasos podem comprometer a segurança, a confiança e a eficiência das operações. Para mitigar esses desafios, surgiram movimentos como a Internet Tátil, que visa minimizar a latência por meio de tecnologias como a computação em borda (do inglês, *edge computing*). Assim, busca-se aprimorar a confiabilidade e a reatividade de sistemas críticos em diferentes setores (Almasan *et al.*, 2022; Huynh *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o presente estudo aborda o trabalho realizado por Rodrigues *et al.* (2024), que desenvolveram uma prova de conceito (PoC, do inglês *Proof of Concept*) de gêmeos digitais, com o

objetivo de estabelecer um sistema de comunicação bidirecional entre um braço robótico e um modelo computacional tridimensional capaz de simular seus movimentos. Apesar de essa meta ter sido alcançada, foi identificado um atraso visível na comunicação entre os gêmeos, evidenciando a inviabilidade do sincronismo desejado para esse tipo de aplicação.

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar propostas de alteração da PoC que têm potencial de reduzir o tempo de resposta. Foram analisados os impactos decorrentes da implementação de um novo fluxo de comunicação entre gêmeos digitais, aliada à mudança de localidade do servidor no qual essa comunicação se baseia para a borda da rede, em substituição à sua posição original na nuvem.

Para alcançar tal propósito, foi seguida uma sequência estruturada de objetivos específicos que culminou no resultado deste estudo. Inicialmente, a PoC de Rodrigues *et al.* (2024) foi reproduzida de modo a assegurar a fidelidade do ambiente experimental. Posteriormente, foi implementado o novo fluxo supracitado. Por fim, foi implantado um novo servidor em borda com as mesmas configurações do servidor em nuvem, para que fosse possível a realização de uma comparação justa entre as soluções. Essa comparação foi realizada através de uma análise estatística dos tempos de ida e volta (RTT, do inglês *round-trip time*) das mensagens trocadas durante a execução do sistema, e de um teste A/B, a fim de determinar qual abordagem apresentou o menor tempo de resposta nas condições apresentadas.

## *Referencial teórico*

Este capítulo apresenta os conceitos que sustentaram o desenvolvimento da PoC de gêmeos digitais abordada, incluindo Internet das Coisas e Gêmeos Digitais. Também explora a computação em borda como estratégia para reduzir o tempo de resposta, e as tecnologias utilizadas nos componentes do sistema, como o Unity, o FIWARE e o protocolo MQTT.

### *Internet das coisas*

A IoT é resultado da convergência de progressos significativos em múltiplas áreas tecnológicas, representando uma evolução notável na maneira como o mundo físico interage com o digital. Ela pode ser descrita como um ecossistema no qual objetos de uso cotidiano (*e.g.* aparelhos eletrodomésticos, veículos, câmeras de segurança) e máquinas industriais são integrados com processadores, sensores e atuadores, conectando-se através de uma rede (Sátyro *et al.*, 2018).

## *Gêmeos digitais*

Com a rápida expansão da IoT, os gêmeos digitais podem ser definidos como representações virtuais precisas de elementos do mundo real (*e.g.* máquinas, ambientes, pessoas *etc.*), conectadas continuamente a seus equivalentes físicos. Essa conexão permite refletir com precisão o estado atual de seus equivalentes do mundo real por meio de um fluxo sincronizado de dados (Madni; Madni; Lucero, 2019; Tao *et al.*, 2019).

Segundo Fuller *et al.* (2020), um gêmeo digital deve garantir a interatividade contínua e bidirecional entre as entidades física e virtual, de forma que mudanças em uma afetem a outra automaticamente. Essa característica o diferencia de modelos digitais estáticos, nos quais não há relação dinâmica entre as entidades.

A aplicabilidade de gêmeos digitais destaca-se em áreas como saúde, manufatura e manutenção. Eles podem ser usados para simular modelos personalizados de pacientes, auxiliando tratamentos, ou para modelar linhas de produção, prever falhas e otimizar processos produtivos (Benedictis *et al.*, 2023; Bjelland *et al.*, 2022; Fuller *et al.*, 2020).

## *Internet Tátil*

Algumas aplicações de IoT exigem tempos de resposta extremamente baixos, destacando a relevância da Internet Tátil, uma abordagem de comunicação em rede focada em minimizar a latência e garantir alta confiabilidade na comunicação entre dispositivos. Esse conceito busca viabilizar transmissões rápidas o suficiente para simular a sensação de toque físico, encontrando aplicações em áreas como medicina remota e indústria (Aijaz; Sooriyabandara, 2019; Qiao *et al.*, 2020).

O principal desafio para sua implementação é a necessidade de latência inferior a milissegundos, um padrão ainda além das capacidades de sistemas atuais. O avanço dessa tecnologia depende da integração de diferentes soluções, muitas delas ainda em fase de pesquisa acadêmica (Berg *et al.*, 2017).

## *Latência e tempo de resposta*

Neste contexto, o tempo de resposta é definido como o intervalo entre a interação do usuário e a reação do sistema (Shneiderman, 1984). Quando esse processo envolve a comunicação entre dispositivos, esse tempo

é impactado pela latência, que corresponde ao período necessário para que um pacote de dados percorra o caminho do ponto de origem ao destino (Khan *et al.*, 2020).

Dentre os fatores que influenciam a latência, destacam-se a distância física entre os pontos de troca, a quantidade de dispositivos de rede envolvidos e o meio de transmissão utilizado (*e.g.* fibra óptica, cabos de cobre *etc.*). O atraso de propagação é condicionado pelo tempo de processamento de cada dispositivo (*e.g.* *switches*, roteadores *etc.*) que estiver participando da transmissão, e pela velocidade dos sinais elétricos ou luminosos a depender do meio utilizado (Briscoe *et al.*, 2016).

### *Computação em borda*

A mitigação do efeito da distância física é a premissa central de uma das tecnologias habilitadoras da Internet Tátil: a computação em borda. Propõe-se que parte ou todo o processamento de um sistema que, em um primeiro momento, esteja sendo realizado em um ambiente distante dos demais dispositivos (*e.g.* servidor em nuvem) passe a ser realizado por um servidor geograficamente mais próximo, no que se denomina borda da rede (Mouradian *et al.*, 2018; Shi *et al.*, 2016).

### *Message queing telemetry transport*

Tanto na PoC de Rodrigues *et al.* (2024) quanto neste estudo, a comunicação foi implementada com o protocolo MQTT (sigla para *Message Queuing Telemetry Transport*), devido à sua eficiência e simplicidade, características adequadas para cenários de teste e demonstração (MQTT, 2024). O *broker* MQTT, *software* responsável por intermediar a comunicação aplicando o protocolo, foi o Eclipse Mosquitto, uma solução de código aberto, leve e de fácil implementação (Eclipse Foundation, 2024).

O protocolo opera na camada de aplicação do modelo OSI (sigla para *Open System Interconnection*), sobre o TCP (sigla para *Transmission Control Protocol*). Sua comunicação segue o paradigma de publicação e inscrição (Pub/Sub, do inglês *publish/subscribe*), em que dispositivos publicam dados em tópicos que servem como canais de transmissão. Após a publicação, o *broker* distribui as mensagens aos dispositivos inscritos nos tópicos correspondentes (Bender *et al.*, 2021).

Neste trabalho, foi utilizada a versão 3.1.1 do MQTT com o nível 0 de qualidade de serviço (QoS, do inglês *Quality of Service*). O protocolo oferece três níveis de QoS, sendo o 0 conhecido como “envie e esqueça”: nesse nível, não há nenhum mecanismo que garanta a entrega das mensagens, priorizando o desempenho e a rapidez na transmissão em detrimento da confiabilidade (Oasis, 2014).

## ***FIWARE***

No contexto de IoT e DTs, uma infraestrutura robusta se faz essencial para garantir a comunicação eficiente, o armazenamento e a orquestração dos dados. O FIWARE é uma plataforma aberta que oferece ferramentas voltadas para o desenvolvimento de soluções inteligentes, com foco na interoperabilidade e na adoção de padrões abertos. Projetada para facilitar a criação de ecossistemas conectados, a plataforma permite integrar dispositivos, coletar e processar dados, além de agregar serviços em áreas como infraestrutura urbana, agricultura, indústria e energia (FIWARE, 2024a).

Sua arquitetura é baseada em habilitadores genéricos (GE, do inglês *Generic Enablers*): componentes modulares que oferecem funcionalidades essenciais, como gerenciamento de dados, segurança, processamento de contexto e conectividade com IoT. Esses componentes simplificam o desenvolvimento ao eliminar a necessidade de reimplementar mecanismos básicos (FIWARE, 2023).

Entre os principais padrões suportados pelo FIWARE, destaca-se o NGSI (sigla para *Next Generation Services Interface*), que viabiliza a troca interoperável de informações com sistemas heterogêneos. Sua versão atualizada, NGSIv2, desenvolvida pela FIWARE Foundation, introduz uma API (sigla para *Application Programming Interface*), que padroniza a comunicação entre aplicações, facilita a integração de novos componentes e amplia a usabilidade do sistema (Fonseca *et al.*, 2019).

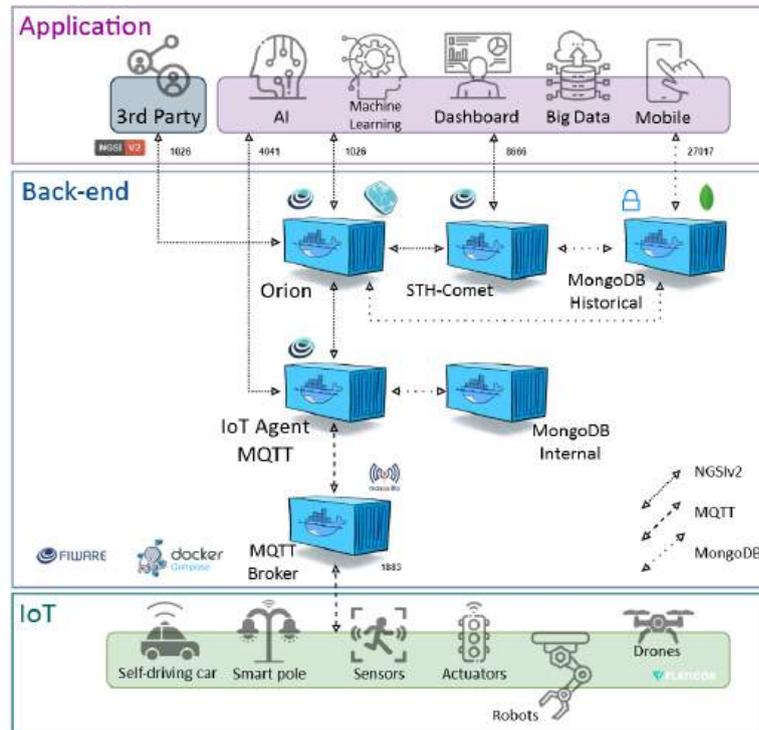
No centro da plataforma está o Orion Context Broker, que, utilizando o NGSIv2, é responsável por integrar diferentes elementos do ecossistema. Ele administra o ciclo de vida das informações de contexto, permitindo operações como criação, leitura, atualização e exclusão dos dados. Além disso, viabiliza a comunicação eficiente entre componentes, coordenando ações e promovendo o gerenciamento centralizado de dados em ambientes inteligentes (FIWARE, 2023; FIWARE, 2024b).

## ***FIWARE descomplicado***

O FIWARE descomplicado é uma ferramenta que simplifica o uso da plataforma FIWARE ao empregar tecnologias de agregação, como o Docker, garantindo a portabilidade e replicabilidade das soluções. Essa abordagem amplia sua aplicabilidade, permitindo o funcionamento em servidores com baixo poder computacional (Cabrin, 2024).

A Figura 1 ilustra a arquitetura da solução, destacando o Orion Context Broker como núcleo do gerenciamento de eventos. Ele se integra ao MQTT e ao armazenamento histórico utilizando MongoDB, um banco de dados não relacional para dados não estruturados, com suporte do *middleware* STH-Comet para registrar notificações no formato NGSIv2 (Cabrini, 2024; FIWARE, 2024c).

Figura 1. Arquitetura do FIWARE descomplicado.



Fonte: Cabrini (2024).

Os sensores e atuadores enviam informações ao Orion via MQTT, utilizando o IoT Agent para converter os dados ao padrão NGSIv2. Essa configuração elimina a necessidade de os dispositivos conhecerem o padrão, garantindo a interoperabilidade entre os componentes (Cabrini, 2024; FIWARE, 2024c).

### Prova de conceito original

A seguir, serão descritos os componentes que integram a PoC. A entidade física, abordada na seção 2.8.1, é composta por um braço robótico controlado por um Arduino Uno R3 com Sensor Shield V5, enquanto a entidade virtual, abordada em 2.8.2, é um programa desenvolvido com o Blender (para modelagem) e o Unity (para lógica e simulação) (Rodrigues *et al.*, 2024).

## Entidade física

O componente físico escolhido foi o RoboArm (Figura 2), um produto da empresa Robocore projetado para uso didático, oferecendo um método prático para se aprender conceitos de programação e mecânica. Ele se movimenta através de quatro servomotores, controlados por uma placa auxiliar integrada que deve ser escolhida pelo usuário (Robocore, 2024).

Figura 2. Braço robótico RoboArm.



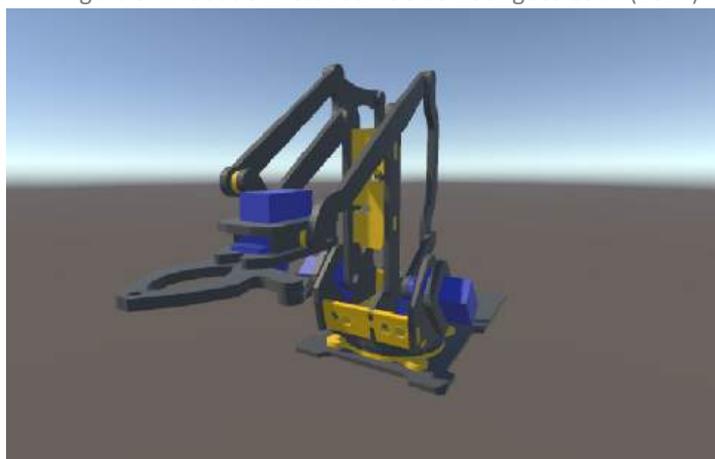
Fonte: Robocore (2024).

Foi utilizado o Arduino Uno R3 equipado com uma *shield* especializada capaz de controlar os motores presentes no RoboArm, criado para simplificar a prototipação de projetos eletrônicos. Seu elemento central é uma placa de circuito contendo um microcontrolador, como o ATmega328P, capaz de processar dados de diversas fontes externas (*e.g.* sensores, botões e potenciômetros) e, como resposta, acionar dispositivos e atuadores (Arduino, 2022).

## Entidade digital

Entidade digital é um *software* de simulação que se comunica com a entidade física. A aplicação foi desenvolvida pelos autores da PoC, e conta com um modelo digital interativo do RoboArm, observado na Figura 3. O modelo foi criado com a ferramenta Blender, um *software* de modelagem tridimensional gratuito e de código aberto (Blender, 2024), e a aplicação que o manipula foi desenvolvida por intermédio da plataforma Unity (Rodrigues *et al.*, 2024).

Figura 3. Entidade virtual da PoC de Rodrigues et al. (2024).



Fonte: elaboração dos autores (2024).

O Unity é um motor de jogo multiplataforma utilizado para a criação de simulações e, principalmente, em jogos digitais. Projetado para facilitar o desenvolvimento independente, ele oferece uma gama de ferramentas para a criação e a integração de elementos essenciais em jogos, como gráficos, efeitos visuais, áudio e simulações de Física. Além dos jogos eletrônicos, a ferramenta é utilizada na produção de animações, aplicativos de realidade virtual, *softwares* de treinamento e simulações (Unity, 2024; Singh; Kaur, 2022).

## *Metodologia*

Este estudo se baseou em uma abordagem experimental para avaliar o impacto de duas alterações propostas na implementação da PoC de Rodrigues *et al.* (2024), envolvendo o fluxo de comunicação e a localidade do servidor. Buscou-se reduzir o tempo de resposta na comunicação entre os gêmeos digitais.

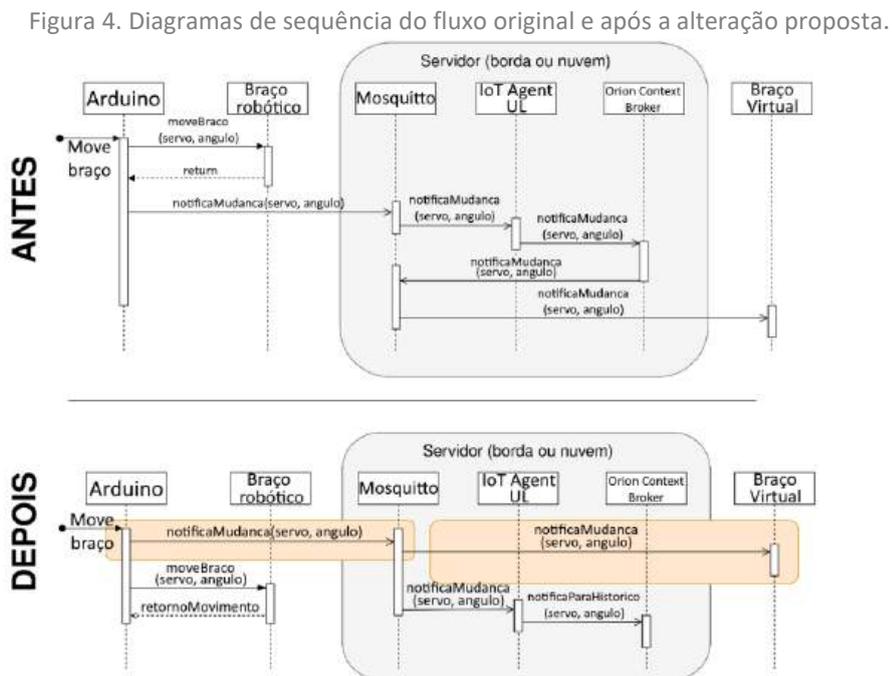
Inicialmente, a PoC foi reproduzida de forma fidedigna para servir como referência na avaliação de desempenho. Em seguida, as alterações descritas na seção 3.1 foram implementadas, e testes quantitativos e qualitativos foram realizados para verificar possíveis reduções no atraso de comunicação, conforme detalhado na seção 3.2. Os testes focaram no envio de notificações da entidade física para a digital, considerando-se suficiente avaliar apenas uma direção, com base na premissa de que os testes apresentariam resultados análogos caso fosse considerado o fluxo inverso.

## Proposta de mudança

Após a reconstrução da PoC, foram identificadas limitações que comprometiam o sincronismo entre as entidades. Para resolver essas questões e maximizar a redução do tempo de resposta, foram implementadas mudanças no fluxo de comunicação antes do teste de mudança de localidade do servidor.

O fluxo original envolvia múltiplas etapas intermediárias. A notificação do comando era enviada ao *broker* MQTT somente após o robô físico concluir o movimento, passando pelo IoT Agent e pelo Orion Context Broker antes de alcançar a entidade virtual, o que impedia o sincronismo dos movimentos.

Como ilustrado na Figura 4, duas alterações foram realizadas para simplificar o fluxo. Primeiro, a notificação passou a ser enviada ao *broker* MQTT assim que o Arduino recebeu o comando, sem aguardar a execução do movimento. Em seguida, o Orion passou a atuar apenas no armazenamento histórico, enquanto a comunicação entre as entidades passou a ocorrer diretamente pelo *broker* MQTT.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

As alterações propostas reduzem a quantidade de etapas e simplificam o fluxo de comunicação, com o intuito de reduzir o tempo de resposta do sistema. Os códigos e fluxos de comunicação atualizados foram disponibilizados em um repositório do GitHub (Turtera *et al.*, 2024).

### *Localização do servidor*

A segunda proposta de alteração consistiu em transferir o *broker* MQTT e o FIWARE para um servidor localizado na borda da rede. Originalmente, ambos estavam hospedados em uma máquina virtual da Amazon Web Services (AWS), situada na região Norte da Virgínia, Estados Unidos, enquanto a PoC operava fisicamente em São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil.

Foi criada uma máquina virtual local, utilizando o *software* Oracle Virtualbox, com as mesmas especificações técnicas da máquina na nuvem, porém hospedada em um computador localizado em São Bernardo do Campo, conectado à mesma rede local que a PoC.

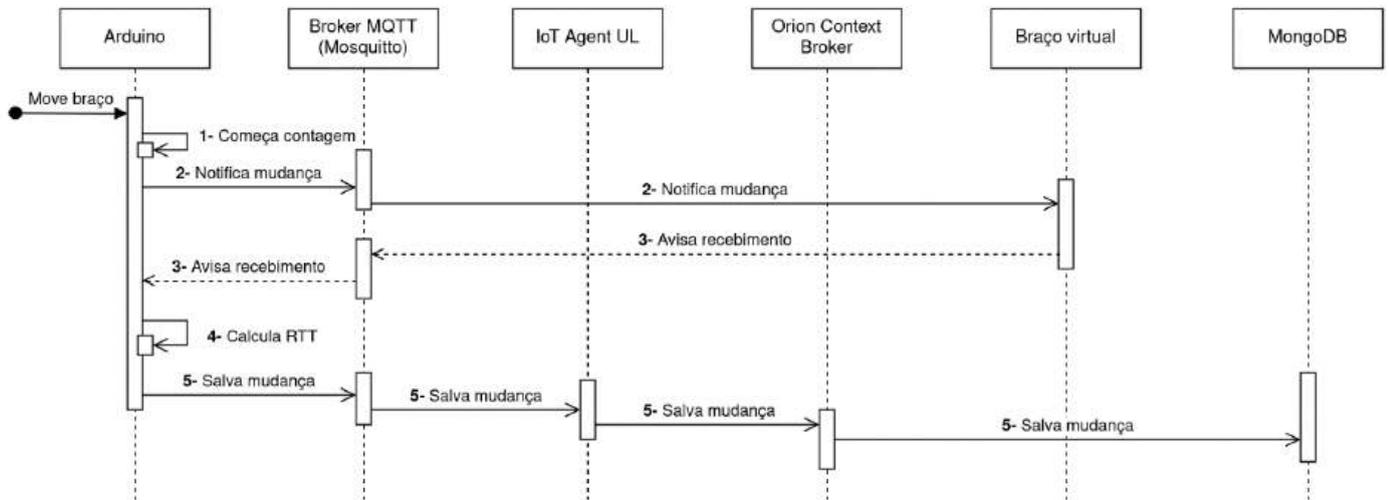
### *Estudo comparativo*

Para avaliar o desempenho da nova arquitetura frente às mudanças propostas, adotou-se uma abordagem que integra métodos quantitativos e qualitativos. Aferiu-se a diferença significativa proporcionada pela implementação em borda utilizando o RTT como métrica. De forma complementar, foi realizado um teste A/B para confirmar se essa diferença também é significativa do ponto de vista do usuário.

### *Coleta de dados*

No cenário dos testes quantitativos, foi realizada uma lógica de envio de comandos de forma contínua e repetitiva: dentro de um laço de repetição, o Arduino foi programado para enviar uma mensagem ao *broker* MQTT e aguardar o seu recebimento. Os comandos eram aleatórios e continham ângulos entre 0° e 360° para os servomotores. Para evitar que o equipamento fosse avariado ao tentar realizar movimentos inconsistentes, a lógica de movimentação foi desativada para esse teste. Esse fato não interfere nos resultados, uma vez que o tempo avaliado é influenciado unicamente pela comunicação. A Figura 5 ilustra o fluxo realizado durante as medições.

Figura 5. Diagrama de sequência do fluxo de coleta de valores de RTT.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Foram realizadas três baterias de testes nos dias 25 e 26 de outubro de 2024, entre 1h e 4h da manhã, com o intuito de minimizar a interferência do tráfego de rede. Cada bateria consistiu na coleta de 1000 amostras em cada localidade de servidor (nuvem e borda).

### *Análise quantitativa e ferramentas*

A análise foi conduzida em duas etapas: primeiro, foi realizada uma análise exploratória dos dados utilizando métricas de estatística descritiva, a fim de inferir conclusões preliminares. Depois, para confirmar essas suposições, foi utilizado o teste U de Mann-Whitney para verificar se havia diferença entre as duas amostras de cada bateria.

Sob hipótese nula, o teste U de Mann-Whitney presume que a distribuição dos valores de duas amostras não apresenta diferença estatisticamente significativa. Esse teste foi escolhido em decorrência da natureza das distribuições dos dados coletados: conforme será evidenciado no capítulo referente aos resultados, após a análise visual por meio de histogramas e a aplicação do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, concluiu-se que nenhuma das distribuições é normal, o que exigiu um teste não paramétrico (Mann; Whitney, 1947; Shapiro; Wilk, 1965).

Tanto o teste de Shapiro-Wilk quanto o teste U de Mann-Whitney fornecem um valor de p, que expressa a probabilidade de a hipótese nula ser verdadeira para o conjunto de dados analisado. Quando o valor de p é inferior a um limite predefinido, entende-se que há evidências suficientes para rejeitar a hipótese

nula. Embora não haja um único valor ideal para esse limite, níveis como 0,05 ou 0,005 são utilizados convencionalmente a depender do rigor exigido pelo estudo (Benjamin *et al.*, 2017).

Todos os valores foram obtidos a partir o *software* IBM SPSS Statistics. Os gráficos, por sua vez, foram gerados utilizando a linguagem de programação Python, especificamente com o uso das bibliotecas Matplotlib, Seaborn e Pandas.

### *Análise qualitativa*

Para avaliar a percepção dos usuários em relação à diferença de sincronismo em cada implementação de localidade de servidor, foi aplicado um teste A/B. Os voluntários foram expostos, em ordem aleatória, a uma sequência de interações com a aplicação hospedada na nuvem (A) e na borda (B). A seguir, foram orientados a avaliar, com uma nota de 1 a 5, a percepção de sincronia entre o movimento realizado no controle e a resposta da entidade digital. É importante ressaltar que todos os voluntários eram alunos do curso superior de Engenharia de Computação, e estavam familiarizados com o tema, o que lhes permitiu observar nuances no sincronismo com maior precisão.

### *Especificações das ferramentas utilizadas*

Conforme citado na seção 3.1.2, buscou-se isolar o impacto da localidade do servidor sobre o tempo de resposta para avaliar a proposta de implementação de um servidor em borda, exigindo, portanto, que a máquina virtual tivesse as mesmas especificações técnicas em ambas as situações. Essas especificações podem ser encontradas no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações do ambiente de execução do FIWARE e do Mosquitto.

<b>Componente</b>	<b>Especificação</b>
Sistema operacional	Ubuntu 20.04.4
vCPUs	1
Memória (GiB)	1
Armazenamento (GB)	30

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Diversas ferramentas foram necessárias para o desenvolvimento da PoC e a realização dos testes. O Quadro 2 contém as versões de cada *software* e biblioteca utilizados neste trabalho.

Quadro 2 – Versões dos softwares e bibliotecas utilizados.

Software/Biblioteca	Versão
Eclipse Mosquitto	2.0.18
IBM SPSS Statistics	30.0.0.0 (Avaliação)
IoT Agent	3.5.0
Matplotlib	3.9.2
MongoDB	4.4
Oracle VM VirtualBox	7.0.20
Orion Context Broker	3.11
Pandas	2.2.2
Python	3.12.5
Seaborn	0.13.2
STH-Comet	2.11.0
Unity	2022.3.12f1

Fonte: elaboração dos autores (2024).

## *Análise dos resultados*

A seguir, serão apresentados os resultados dos testes realizados para avaliar o impacto das alterações propostas no fluxo de comunicação e na localidade do servidor.

### *Resultado da alteração estrutural do fluxo de comunicação*

Conforme explicado anteriormente, o fluxo de trabalho original não permitia que os gêmeos digitais atuassem em sincronia, uma vez que o código do Arduino fora programado para não enviar a notificação do comando ao braço virtual até que o movimento do braço físico fosse finalizado. Ao remover essa restrição, a diferença de tempo de resposta pôde ser percebida de forma qualitativa, ainda que sem a medição exata do valor apresentado no caso anterior. Por isso, os testes foram aplicados somente para a alteração na localidade do servidor.

### *Resultado da alteração da localização do servidor*

A Tabela 1 apresenta as métricas descritivas dos dados coletados. Percebe-se que as três baterias apresentaram valores consistentes entre si, validando a confiabilidade das amostras para análises estatísticas. Entre os cenários avaliados, os dados revelam que a média do RTT na borda é cerca de 21 vezes menor do que na nuvem, demonstrando uma significativa redução no tempo de resposta. O alto coeficiente de variação na borda sugere que a solução é mais instável, porém, considerando que 90% dos valores registrados estão próximos à média, pode-se inferir que a razão do aumento dessa medida seja o grau de extremidade de valores atípicos que não representam o grupo de dados estudados.

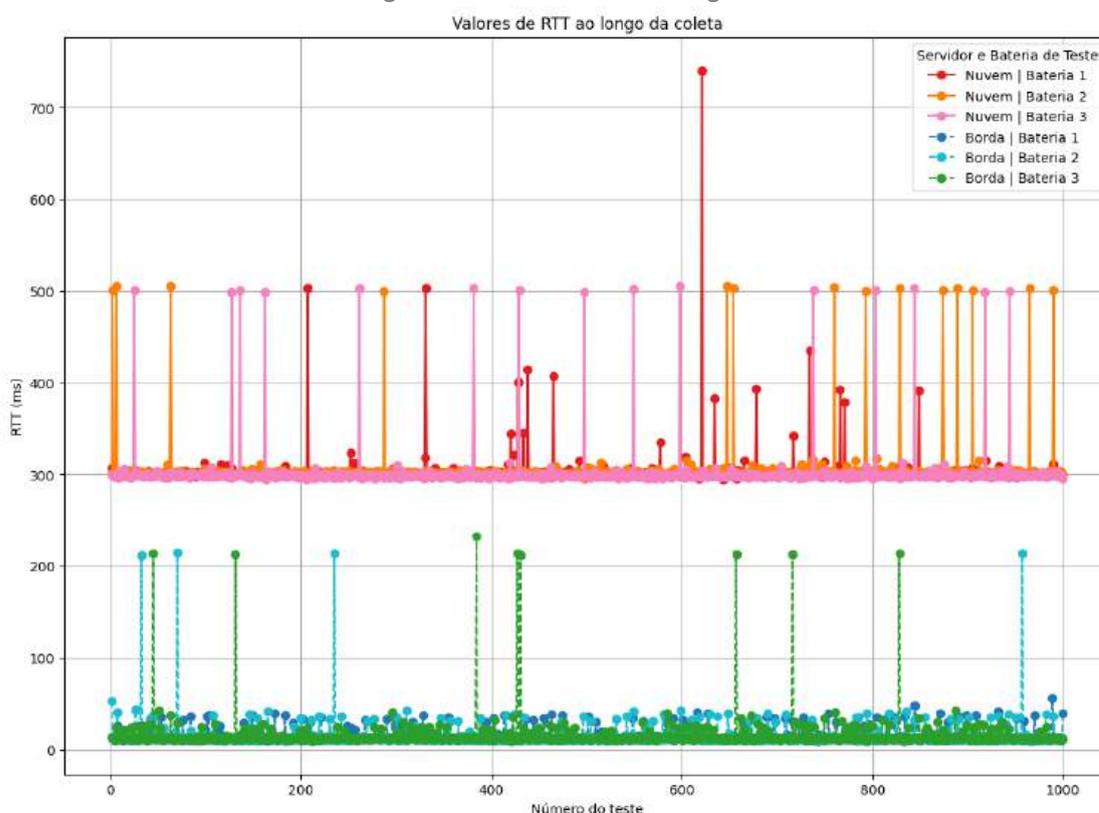
Tabela 1 – Métricas descritivas dos grupos de valores de RTT coletados.

Servidor	Nuvem			Borda			
	Bateria	1	2	3	1	2	3
Média (ms)		302,28	304,08	301,79	13,70	14,38	15,12
Desvio padrão (ms)		19,40	23,76	24,68	6,11	14,01	18,62
Coeficiente de variação (%)		6,42	7,81	8,18	44,57	97,45	123,17
Mínimo (ms)		294,64	295,21	294,58	9,52	9,60	9,42
Percentil 90 (ms)		302,71	303,31	301,02	14,98	14,22	20,98
Máximo (ms)		740,45	504,98	504,79	55,87	214,69	233,12

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Além disso, observou-se que todos os valores obtidos na borda, incluindo os atípicos mais altos, permaneceram inferiores ao menor tempo registrado na nuvem. Essa separação clara entre os grupos, ilustrada na Figura 6, confirma a diferença nos tempos de resposta entre as abordagens, com a borda apresentando valores consistentemente mais baixos.

Figura 6. Valores de RTT ao longo da coleta.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Para reforçar essa conclusão, foi aplicado um teste não paramétrico de heterogeneidade entre amostras distintas, confirmando que os valores observados são, do ponto de vista estatístico, significativamente diferentes. Optou-se pelo teste U de Mann-Whitney mediante o fato de que nenhuma das distribuições

era normal. A não normalidade foi confirmada por três métricas: curtose, assimetria e valor de p do teste de Shapiro-Wilk, os quais se encontram detalhados na Tabela 2.

Tabela 2 – Métricas referentes à normalidade de cada distribuição.

Servidor	Bateria	Curtose	Assimetria	Valor de p (Shapiro-Wilk)
Nuvem	1	287,25	15,02	<0,001
	2	65,27	8,17	<0,001
	3	60,93	7,91	<0,001
Borda	1	11,10	3,38	<0,001
	2	161,79	11,79	<0,001
	3	105,43	10,06	<0,001

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Os resultados do teste U de Mann-Whitney confirmaram, com alto grau de significância, a diferença estatística entre os tempos de resposta. Em todas as baterias analisadas, o valor de p obtido foi inferior a 0,001, possibilitando a rejeição da hipótese nula para os casos observados e ressaltando que essa proposta de alteração proporcionou uma redução expressiva do tempo de resposta.

Por fim, para o teste A/B foram coletadas 11 amostras, e todos os voluntários relataram que o tempo de resposta da abordagem em borda parecia mais baixo em comparação à nuvem, reforçando a conclusão anterior de forma qualitativa. A Figura 7 ilustra essa percepção, mostrando que 90,9% dos participantes atribuíram nota máxima ao desempenho do sistema em borda, enquanto nenhum deles deu uma nota maior do que 4 ao sistema em nuvem.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

## Considerações finais

Com o cumprimento das metas específicas, o objetivo principal deste trabalho foi alcançado. A replicação fiel da PoC descrita por Rodrigues *et al.* (2024) assegurou a confiabilidade do ambiente experimental, permitindo a implementação de um novo fluxo de comunicação e a mudança para um servidor em borda. Essas alterações eliminaram atrasos desnecessários, resultando em uma redução expressiva no tempo de resposta, comprovada pelos testes e pela análise estatística.

Apesar desse êxito, algumas limitações foram identificadas, como as restrições do protocolo MQTT e do *hardware* da placa Arduino, além do uso de um ambiente controlado que pode não refletir cenários mais complexos. Trabalhos futuros podem investigar alternativas, como protocolos mais rápidos, placas de maior capacidade e testes em condições variadas, a fim de ampliar a compreensão sobre os benefícios da computação em borda no contexto estudado.

## Referências

- AIJAZ, A.; SOORIYABANDARA, M. The tactile internet for industries: a review. **Proceedings Of The IEEE**, [S.L.], v. 107, n. 2, p. 414-435, fev. 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jproc.2018.2878265>.
- ALMASAN, P. *et al.* Network digital twin: context, enabling technologies, and opportunities. **IEEE Communications Magazine**, [S.L.], v. 60, n. 11, p. 22-27, nov. 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/mcom.001.2200012>.
- ARDUINO. **What is Arduino?** 2022. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino/>. Acesso em: 21 abr. 2024.
- BENDER, M. *et al.* Open-source MQTT evaluation. **2021 IEEE 18Th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)**, [S.L.], p. 1-4, 9 jan. 2021. IEEE. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ccnc49032.2021.9369499>.
- BENEDICTIS, A. *et al.* Digital twins in healthcare: an architectural proposal and its application in a social distancing case study. **IEEE Journal Of Biomedical And Health Informatics**, [S.L.], v. 27, n. 10, p. 5143-5154, out. 2023. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jbhi.2022.3205506>.
- BENJAMIN, D. *et al.* Redefine statistical significance. **Nature Human Behaviour**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 6-10, 1 set. 2017. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41562-017-0189-z>.
- BERG, D. *et al.* Challenges in haptic communications over the tactile internet. **IEEE Access**, [S.L.], v. 5, p. 23502-23518, 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2017.2764181>.
- BJELLAND, O. *et al.* Toward a digital twin for arthroscopic knee surgery: a systematic review. **IEEE Access**, [S.L.], v. 10, p. 45029-45052, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2022.3170108>.
- BLENDER. Introduction. **Docs Blender**, 2024. Disponível em: [https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting\\_started/about/introduction.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting_started/about/introduction.html). Acesso em: 21 ago. 2024.

BRISCOE, B. *et al.* Reducing internet latency: a survey of techniques and their merits. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 2149-2196, 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/comst.2014.2375213>

CABRINI, F. **FIWARE Descomplicado**. 2024. Disponível em: <https://github.com/fabiocabrini/fiware>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ECLIPSE FOUNDATION. **Eclipse Mosquitto**. 2024. Disponível em: <https://mosquitto.org>. Acesso em: 9 dez. 2024.

FIWARE. **FIWARE Catalogue**. 2023. Disponível em: <https://www.fiware.org/catalogue/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FIWARE. **FIWARE: Open APIs for Open Minds**. 2024a. Disponível em: <https://www.fiware.org>. Acesso em: 25 abr. 2024.

FIWARE. **Fiware-Orion**. 2024b. Disponível em: <https://fiware-orion.readthedocs.io/en/master/>. Acesso em: 28 abr. 2024.

FIWARE. **Fiware-STH-Comet**. 2024c. Disponível em: <https://fiware-sth-comet.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em: 27 set. 2024.

FONSECA, J. *et al.* **FIWARE-NGSI v2 Specification**. 2019. Disponível em: <https://fiware.github.io/specifications/ngsiv2/stable/>. Acesso em: 28 abr. 2024.

FULLER, A. *et al.* Digital twin: enabling technologies, challenges and open research. **IEEE Access**, [S.L.], v. 8, p. 108952-108971, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2998358>

HUYNH, D. *et al.* Edge intelligence-based ultra-reliable and low-latency communications for digital twin-enabled metaverse. **IEEE Wireless Communications Letters**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 1733-1737, ago. 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/lwc.2022.3179207>.

IBM. **O que é MongoDB**. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/mongodb>. Acesso em: 27 set. 2024.

KHAN, U. *et al.* Latency reduction in optical metro networks. **2020 IEEE 23Rd International Multitopic Conference (INMIC)**, [S.L.], p. 1-5, 5 nov. 2020. IEEE. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/inmic50486.2020.9318214>.

MA, Z. *et al.* High-reliability and low-latency wireless communication for internet of things: challenges, fundamentals, and enabling technologies. **IEEE Internet Of Things Journal**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 7946-7970, out. 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jiot.2019.2907245>.

MADNI, A.; MADNI, C.; LUCERO, S. Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. **Systems**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 7, 30 jan. 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/systems7010007>.

MANN, H.; WHITNEY, D. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The Annals Of Mathematical Statistics**, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 50-60, mar. 1947. Institute of Mathematical Statistics. DOI: <http://dx.doi.org/10.1214/aoms/1177730491>.

MORAES, R. **Indústria 4.0: impactos sociais e profissionais**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 14 abr. 2024.

MOURADIAN, C. *et al.* A comprehensive survey on fog computing: state-of-the-art and research challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 416-464, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/comst.2017.2771153>.

MQTT. **MQTT: The standard for IoT messaging**. Disponível em: <https://mqtt.org>. Acesso em: 24 abr. 2024.

OPEN MOBILE ALLIANCE. **Next Generation Service Interfaces Architecture**. 2012. Disponível em: [http://www.openmobilealliance.org/release/NGSI/V1\\_0-20120529-A/OMA-AD-NGSI-V1\\_0-20120529-A.pdf](http://www.openmobilealliance.org/release/NGSI/V1_0-20120529-A/OMA-AD-NGSI-V1_0-20120529-A.pdf). Acesso em: 20 maio 2024.

QIAO, Y. *et al.* Haptic communication: toward 5G tactile internet. **2020 Cross Strait Radio Science & Wireless Technology Conference (CSRSWTC)**, [S.L.], p. 1-3, 13 dez. 2020. IEEE. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/csrswtc50769.2020.9372659>.

ROBOCORE. **Braço Robótico RoboARM**. Disponível em: <https://www.robocore.net/robotica-robocore/braco-robotico-roboarm>. Acesso em: 21 abr. 2024.

RODRIGUES, Y. *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, v. 1, n. 9, p. 41-62, jun. 2024. Disponível em: <https://saijournal.cefsa.org.br/>. Acesso em: 11 jul. 2024.

SÁTYRO, W. *et al.* (org.). **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. 1. ed. São Paulo, SP: Blucher, 2018. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 14 abr. 2024.

SHAPIRO, S.; WILK, M. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, [S.L.], v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1 dez. 1965. Oxford University Press (OUP). DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.

SHI, W. *et al.* Edge computing: vision and challenges. **IEEE Internet Of Things Journal**, [S.L.], v. 3, n. 5, p. 637-646, out. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/jiot.2016.2579198>.

SHNEIDERMAN, B. Response time and display rate in human performance with computers. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 16, n. 3, p. 265-285, 1984.

SINGH, S.; KAUR, A. Game development using Unity game engine. **2022 3Rd International Conference On Computing, Analytics And Networks (ICAN)**, [S.L.], p. 1-3, 18 nov. 2022. IEEE. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ican56228.2022.10007155>.

TAO, F. *et al.* Digital twin in industry: state-of-the-art. **IEEE Transactions On Industrial Informatics**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 2405-2415, abr. 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/tii.2018.2873186>.

TURTERA, G. *et al.* **TCC-DT-Robot**. 2024. Disponível em: <https://github.com/guitartera/TCC-DT-Robot>. Acesso em: 28 out. 2024.

UNITY. **Plataforma de desenvolvimento em tempo real do Unity | 3D, 2D, engine VR e AR**. Disponível em: <https://unity.com/pt>. Acesso em: 22 abr. 2024.

# CartNinja: solução integrada entre *IoT*, *serverless* e computação em nuvem para auxiliar na redução do desperdício residencial

*CartNinja: an integrated solution combining IoT, serverless, and cloud computing to help reduce household waste*

## Engenharia de Computação

**Gabriel Lara Baptista** ([pro15969@cefsa.edu.br](mailto:pro15969@cefsa.edu.br))

Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Nove de Julho e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Caio Ruiz** ([caio.ruiz00@gmail.com](mailto:caio.ruiz00@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Fernando Zanardi Lopes** ([fzanardilopes@gmail.com](mailto:fzanardilopes@gmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Thales Feliciano Baracho** ([thalesfeliciano@hotmail.com](mailto:thalesfeliciano@hotmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

**Victor Assagra** ([victorassagra@hotmail.com](mailto:victorassagra@hotmail.com))

Bacharel em Engenharia de Computação pela Faculdade Engenheiro Salvador Arena

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025
- ISSN 2525-8729

Submissão: 13 dez. 2024 Aceitação: 28 maio 2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 76 - 95

FTT JOURNAL  
of Engineering and Business



## *Resumo*

Enquanto milhões de pessoas sofrem de algum grau de insegurança alimentar, bilhões de toneladas de alimentos são desperdiçados anualmente. Diante desta perspectiva, tem-se que, no Brasil, aproximadamente 60% do desperdício advém de residências. Este projeto visa auxiliar na diminuição do desperdício de alimentos, sobretudo no ambiente residencial, através de uma solução que torne mais fácil e eficiente a criação de uma lista de compras, promovendo o consumo responsável. Fazendo uso da tecnologia de *IoT*, *serverless* e computação em nuvem, juntamente com um aplicativo móvel e um hardware dedicado com Raspberry Pi 3B+, a solução proposta criou um ambiente facilitado para o usuário gerenciar sua lista de compras. A ideia de uma lista de compras virtual surgiu a partir da pesquisa bibliográfica de artigos que mostraram a existência desse número alarmante de desperdício de alimentos em residências, sendo um dos motivos a existência de itens duplicados em despensas. A solução técnica desenvolvida se mostrou eficiente em testes realizados em três residências diferentes, de modo que houve relatos de melhoria na gestão das compras de produtos ausentes na despensa.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas. Serverless. Computação em nuvem. Lista de compras virtual.

## *Abstract*

While millions of people suffer from some degree of food insecurity, billions of tons of food are wasted annually. In this context, it is noted that in Brazil, approximately 60% of food waste comes from households. This project aims to help reduce food waste, especially in the residential environment, through a solution that makes it easier and more efficient to create a shopping list, promoting responsible consumption. Using IoT technology, serverless computing, and cloud computing, along with a mobile app and dedicated hardware with a Raspberry Pi 3B+, the proposed solution created an easier environment for users to manage their shopping list. The idea of a virtual shopping list came from the literature review of articles that showed this alarming number of food waste in homes, one of the reasons being duplicated pantry items. The technical solution developed proved efficient in tests conducted in three different households, with reports of improvements in managing the purchase of missing pantry products.

**Keywords:** Internet of Things. Serverless. Cloud Computing. Virtual Shopping List.

# Introdução

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), aproximadamente 10,3 milhões de brasileiros vivem em condições de severa privação alimentar. Entre os 68,9 milhões de domicílios do Brasil, 36,7% enfrentam algum grau de insegurança alimentar, afetando diariamente 84,9 milhões de pessoas. Essa realidade evidencia um desafio alimentar para a atual geração.

Em contraponto a esse fato, enfrenta-se um paradoxo alarmante: enquanto, anualmente, bilhões de toneladas de comida são desperdiçadas, a fome e a insegurança alimentar persistem como desafios globais. A Organização das Nações Unidas (ONU, 2023) afirma que apesar de haver recursos suficientes para alimentar toda a população mundial, a distribuição inadequada perpetua a desigualdade alimentar.

Notadamente, o Brasil destaca-se como sendo o 10º país que mais desperdiça alimentos no mundo, com um total de 27 milhões de toneladas de alimentos desperdiçados por ano, conforme relatório da ONU (2021). Vale destacar que as famílias lideram esse desperdício de alimentos, sendo responsáveis por 61% deste desperdício, de acordo com informações levantadas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Pnuma (2021).

A partir desse cenário, percebe-se que as estatísticas apontam que as pessoas frequentemente têm dificuldade em gerenciar seus estoques residenciais, adquirindo alimentos duplicados e muitas vezes não percebendo os itens prestes a vencer, o que resulta em desperdício (Farr-Wharton *et al.*, 2014). Diante dessa situação urgente, é necessário adotar abordagens inovadoras que não apenas otimizem o uso dos recursos, mas que também abordem diretamente uma das causas fundamentais, mas oculta, da insegurança alimentar e da fome: o desperdício.

Partindo dessa problemática do desperdício de alimentos, este projeto surgiu como uma resposta direta a essa demanda premente. O objetivo geral não foi apenas melhorar a gestão do tempo das pessoas durante suas atividades de compras, mas também auxiliar no combate ao desperdício alimentar ao oferecer uma solução que minimize o problema e que seja viável economicamente para que se alcance mais pessoas. Combinando a tecnologia da Internet das Coisas (do inglês *internet of things*) e um aplicativo móvel, buscou-se criar uma experiência de compra mais eficiente e consciente.

Com o intuito de atingir o objetivo deste estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos. Em primeira instância, visou-se a identificação de produtos por meio da leitura de códigos de barras, utilizando um protótipo de hardware microcontrolado para integrar esses itens a um carrinho de compras virtual. Adicionalmente, pretendeu-se possibilitar que o usuário adicionasse produtos ao carrinho através de comandos de voz para itens sem códigos de barras. Além disso, foi prevista a criação de uma

infraestrutura em nuvem dedicada, destinada a hospedar e executar os serviços do *backend*, bem como gerenciar o banco de dados associado. Esses objetivos específicos foram delineados para orientar o desenvolvimento da solução, visando uma abordagem abrangente e funcional para sua implementação.

## *Referencial teórico*

A integração de dispositivos eletrônicos tornou-se uma tendência significativa no cenário da automação residencial. A interconexão entre hardware e software, nesse contexto, visou proporcionar uma experiência mais eficiente e personalizada aos usuários, otimizando o gerenciamento de recursos domésticos e promovendo maior comodidade (Danzinger, 2023). Nesse sentido, para o entendimento deste projeto, foi fundamental explorar as bases teóricas que fornecem o embasamento necessário para o desenvolvimento e a implementação desses sistemas.

Ademais, as práticas adotadas e a ideia do projeto foram inspiradas em um artigo base, que serviu como guia fundamental para a condução do projeto. Para tal, foi pensado, além da ótica de controle de data de validade dos produtos, também o controle do estoque através das compras futuras, ou seja, o que o usuário realmente utilizou e do que vai necessitar em sua próxima compra. Outro diferencial foi acrescentar a leitura por código de barras em vez de utilizar visão computacional (Reis et al., 2023).

### *Hardware: Raspberry Pi 3 B+ e outros componentes*

Para servir de hardware deste projeto, foi utilizado um Raspberry Pi 3 B+, um microfone INMP441, um MH-ET Live Scanner para leitura de código de barras, um *led*, um botão, responsável pela ativação das funções de reconhecimento de voz e um HC-05 para facilitar a conexão *bluetooth* com a aplicação *mobile*. Todo esse equipamento foi acomodado dentro de uma caixa feita de resina, construída com o auxílio de uma impressora 3D, que consiste em um dispositivo capaz de criar objetos tridimensionais a partir de modelos digitais (Basniak; Liziero, 2017).

A Raspberry Pi 3B+ é uma placa de computador de baixo custo e alto desempenho, projetada para uma variedade de aplicações em computação e eletrônica, equipada com um processador quad-core de 64 bits ARM Cortex-A53 rodando a 1,4 GHz, e 1 GB de RAM. Além disso, possui conectividade *wireless* integrada, incluindo Wi-Fi 802.11ac de banda dupla e *Bluetooth* 4.2, o que permitiu uma fácil conexão com redes locais e dispositivos externos. Com uma variedade de portas de entrada e de saída, como portas USB,

HDMI e GPIO, a Raspberry Pi 3 B+ ofereceu uma plataforma versátil para projetos de automação residencial, servidores de mídia, aprendizado de programação, entre outros (Raspberry Pi Foundation, 2024).

O INMP441 oferece uma solução compacta e de alta qualidade para a captura de áudio em dispositivos eletrônicos, sendo um microfone digital de eletreto com saída PDM (Modulação por Densidade de Pulso). Essa saída o torna eficiente na transmissão de dados de áudio digital, tornando-o especialmente adequado para aplicações em que a eficiência do processamento e a qualidade de áudio são essenciais, como em dispositivos *IoT*, sistemas de reconhecimento de voz e outros produtos eletrônicos que demandam captação de som com alta fidelidade (Von Pflug; Krischker, 2017).

No contexto deste projeto, o microfone INMP441 utilizou a interface I2S para transmitir os dados de áudio digital de forma eficiente e com alta fidelidade. A interface de áudio I2S (*Inter-IC Sound*) é um protocolo serial de alta velocidade amplamente utilizado para transmitir áudio digital entre dispositivos em sistemas embarcados. Essa interface é adequada para aplicações que demandam qualidade de áudio superior e eficiência no processamento, tornando-a uma escolha ideal para sistemas de reconhecimento de voz e outras aplicações de captura de áudio em dispositivos *IoT* (Prajwal; Sowmya, 2022).

Para este projeto foi considerada a leitura de códigos de barras do tipo EAN-13, um padrão de 13 (treze) dígitos amplamente utilizados em mercados e lojas, sendo o último dígito um verificador e os primeiros dois ou três dígitos, identificadores do país de origem (Siaw-Yeboah, 2022).

### *Computação em nuvem*

A computação em nuvem refere-se a um modelo de computação que oferece recursos de processamento, armazenamento e serviços através da internet. Em vez de manter servidores e infraestrutura local, os recursos são disponibilizados por provedores de serviços em *data centers* remotos, permitindo o acesso flexível e escalável a esses recursos sob demanda (Google Cloud, 2024). De acordo com AWS (2024), *IoT* ou Internet das Coisas refere-se a uma rede interconectada de dispositivos e a uma tecnologia que viabiliza a comunicação tanto entre esses dispositivos como entre a nuvem.

Dentro deste contexto, a Amazon Web Services (AWS) oferece uma gama diversificada de serviços de nuvem desenhados para atender diferentes necessidades de computação, armazenamento e comunicação de empresas e desenvolvedores. Para tal, foi necessária a criação de APIs em nuvem, que

servem para integrar os serviços; a sigla API (*application programming interface*) refere-se a um conjunto de normas, ferramentas e protocolos que possibilitam a interação de diferentes plataformas e softwares (AWS, 2024). Para a construção das APIs, foi utilizado o padrão REST, que é um estilo de arquitetura baseado no protocolo HTTP, utilizado na construção de sistemas com interfaces bem definidas. Ele estabelece conexões entre o cliente e o servidor de destino que podem gerar excelentes resultados em aplicações *mobile*, *web* e Internet das Coisas (IBM, 2024).

Para este projeto foram utilizados os serviços AWS, dentre eles: o *Lambda*, um serviço de computação sem servidor, que permite aos desenvolvedores executarem código em resposta a eventos, sem se preocupar com a infraestrutura, escolhido pelo baixo custo e alta disponibilidade.

O serviço Amazon API *Gateway* facilita a implementação de APIs e foi escolhido para expor as funções do AWS *Lambda* para a internet. Já o Amazon *DynamoDB*, um banco de dados NoSQL gerenciado, foi escolhido pelo baixo custo e alta disponibilidade. Por fim, foi também utilizado o Amazon *SNS*, um serviço de mensagens gerenciado, utilizado destinado ao envio de *e-mails* com a senha de uso único para os clientes, escolhido pela simplicidade do uso (AWS, 2024).

## *Docker*

O Docker é uma plataforma de código aberto que simplifica a implantação e execução de aplicativos em contêineres, fornecendo uma maneira eficiente e padronizada de criar, distribuir e executar aplicativos, isolando-os uns dos outros e do sistema operacional subjacente. Essa abordagem facilita a escalabilidade, a implantação rápida e a consistência nas implementações de software. (Docker Docs, 2024)

## *Linguagens e frameworks*

As linguagens de programação e *frameworks* são ferramentas fundamentais no desenvolvimento do software, cada uma com suas próprias características, vantagens e aplicações específicas. As linguagens de programação oferecem os blocos de construção básicos para criar programas, enquanto os *frameworks* fornecem um conjunto de diretrizes e funções para facilitar e acelerar o desenvolvimento de aplicações complexas (Farooq *et al.*, 2014). No Quadro 1, podem ser vistos a definição e o uso das linguagens e *frameworks* utilizados para o desenvolvimento do projeto.

Linguagens	Definição
Python	Python é uma linguagem de programação de alto nível, reconhecida pela clareza e simplicidade de seu código. Tal linguagem suporta múltiplos paradigmas de programação, destacando-se por sua legibilidade, o que permite aos desenvolvedores expressarem conceitos complexos de maneira concisa. (Van Rossum, 2018)
JavaScript	JavaScript (por vezes abreviado como JS) é uma linguagem de programação web utilizada por grande parte dos sites e navegadores. Ela é leve, interpretada e fundamentada em objetos, além de ser dotada de funções de primeira classe (Flanagan, 2020). Ademais, o TypeScript caracteriza-se como uma extensão do JavaScript, que adiciona recursos de tipagem estática opcional e outros aprimoramentos de desenvolvimento. (TYPESCRIPT, 2024)
HTML	HTML, ou <i>HyperText Markup Language</i> (Linguagem de Marcação de Hipertexto), é uma linguagem de marcação utilizada para estruturar o conteúdo de páginas da web. Desenvolvido para ser interpretado por navegadores, o HTML permite a criação de documentos que incluem texto, imagens, <i>links</i> , formulários e outros elementos interativos. (MDN WEB DOCS, 2024)
CSS	CSS, ou <i>Cascading Style Sheets</i> (Folhas de Estilo em Cascata), é uma linguagem de estilo utilizada em conjunto com o HTML para definir a apresentação e o layout de páginas web. Ela permite que os desenvolvedores controlem a aparência visual dos elementos HTML, aplicando estilos como cores, fontes, espaçamentos e posicionamentos. (MDN WEB DOCS, 2022)
C#	C# é uma linguagem de programação versátil, moderna e orientada a objetos, amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicativos na plataforma .NET. Sua sintaxe clara, recursos avançados e integração com a plataforma .NET a torna uma escolha popular para uma variedade de cenários de desenvolvimento de software. (Microsoft Learn, 2024)
.NET	Dotnet (ou .NET) é uma plataforma de desenvolvimento que oferece um ambiente abrangente para criar uma variedade de aplicativos, de aplicações web e serviços a aplicativos para dispositivos móveis e sistemas corporativos. (Microsoft, 2023)
React Native	O React Native é um framework de desenvolvimento de aplicativos móveis que permite a criação de aplicações nativas para iOS e Android utilizando a linguagem de programação JavaScript e a biblioteca React. (React Native, 2024)
<i>Serverless Framework</i>	O <i>Serverless Framework</i> é um <i>framework</i> de arquitetura baseado na AWS que oferece uma abordagem para a criação de aplicativos em infraestrutura de nuvem, a qual pode ser escalonada automaticamente sem a incorrência de cobrança enquanto ociosa, e normalmente exige manutenção mínima. (Serverless Framework, 2024)

Fonte: elaboração dos autores (2025).

### ***Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) e Protocolos de Segurança***

A LGPD (Lei nº 13.709/2018) estabelece diretrizes para o tratamento de dados pessoais e impõe regulamentos rigorosos sobre a coleta, armazenamento e tratamento desses dados (Brasil, 2018).

Como o sistema interage com informações de compras, a conformidade com a LGPD mostrou-se essencial para garantir a privacidade dos dados dos usuários, sendo necessária a adoção das diretrizes da lei para assegurar a conformidade legal. (BNDES, 2021)

*HTTP (Hypertext Transfer Protocol)* é um protocolo fundamental utilizado na transferência de dados na *World Wide Web*. O *HTTPS* é uma extensão segura do *HTTP*, que utiliza o protocolo *SSL/TLS (Secure Sockets Layer/Transport Layer Security)* para criptografar os dados transferidos, garantindo que mesmo se forem interceptados, eles serão indecifráveis; além disso, o protocolo também verifica a identidade do servidor para o qual os dados estão sendo enviados, utilizando certificados digitais. (Rescorla, 2004)

## *Metodologia*

Inicialmente, as investigações foram conduzidas tendo como base revisões bibliográficas de natureza exploratória, visando estabelecer uma base teórica que sustentasse o avanço do projeto. A primeira etapa consistiu em uma pesquisa teórica, seguida de uma revisão bibliográfica. Após isso, foi feito um *benchmark* para entender as tendências do mercado, buscando produtos semelhantes que já estejam em circulação. A seguir, a solução começou a ser construída, sendo criado, em primeiro lugar, o hardware, o aplicativo móvel e, por fim, a integração entre hardware e software. Em seguida, foram realizados os testes da solução em residências.

O projeto foi conduzido com o uso da metodologia ágil de desenvolvimento SCRUM, que consiste em um *framework* que organiza o desenvolvimento em ciclos de entregas incrementais e promove a divisão clara de responsabilidades entre os membros da equipe (SCRUM, 2024). Essa abordagem, juntamente com a elaboração de um *roadmap* para orientação das etapas do projeto, permitiu a construção progressiva de um produto final mais alinhado aos objetivos propostos.

### *Desenvolvimento do hardware*

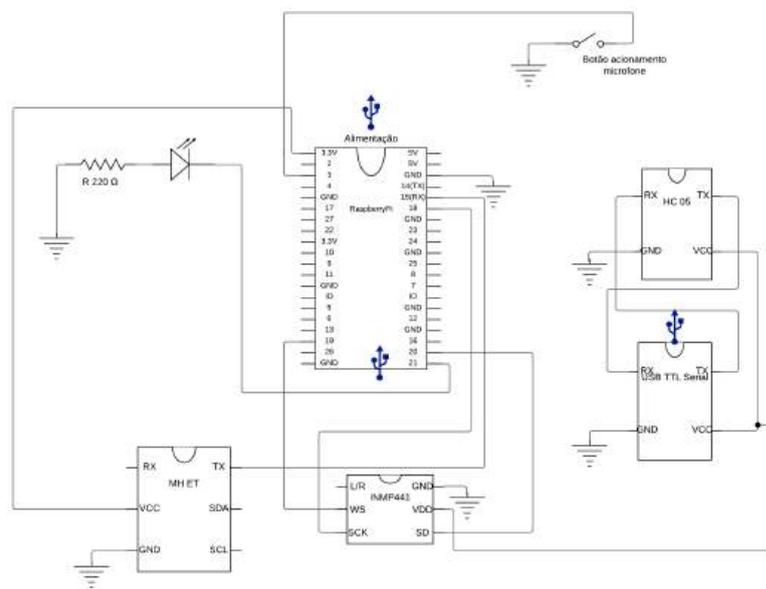
A concepção do hardware para este projeto baseou-se na integração de um conjunto de componentes essenciais, visando a criação da solução proposta. No centro do sistema, o Raspberry Pi 3B+ foi escolhido devido à sua capacidade computacional e ampla compatibilidade com periféricos. Para a captura de comandos de voz, o microfone INMP441 foi selecionado por sua alta sensibilidade e capacidade de registrar áudio de alta qualidade. A funcionalidade de leitura de códigos de barras foi incorporada através

do Scanner MH-ET Live, garantindo uma identificação rápida e precisa de produtos. Além disso, um *led*, um botão e um HC-05 foram integrados respectivamente como interfaces de usuário e conexão *bluetooth* facilitada.

Vale ressaltar que durante o desenvolvimento do projeto, surgiram desafios relacionados à escolha de hardware. Inicialmente, o ESP32-CAM foi testado, mas substituído devido à baixa qualidade das imagens e por ser um módulo descontinuado. Posteriormente, o ESP32 também foi descartado pela falta de memória e pela dificuldade em lidar com requisições HTTPS. O projeto, então, como supramencionado, foi construído utilizando o Raspberry Pi 3B+, que atendeu melhor às necessidades do sistema.

O desenvolvimento do protótipo iniciou-se com a montagem desses componentes conforme um esquema elétrico detalhado, que serviu como guia para a conexão dos elementos do sistema. Este esquema, apresentado na Figura 1, não apenas facilitou a montagem inicial, mas também forneceu uma base sólida para as etapas subsequentes do desenvolvimento.

Figura 1 – Esquema elétrico.



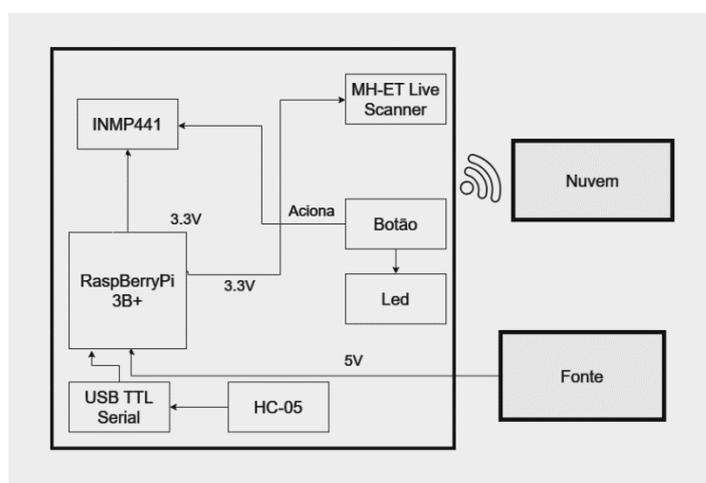
Fonte: elaboração dos autores. (2025)

Após a validação da usabilidade do protótipo na placa de prototipação pelo grupo, o projeto avançou para a transferência dos componentes para uma placa de fenolite. Esse passo foi essencial para a garantia da durabilidade do dispositivo, estabelecendo uma plataforma sólida para as etapas subsequentes de implementação do projeto, além de assegurar a sua finalidade em cenários práticos de uso. Por fim, para

proteger o hardware e melhorar sua estética, o conjunto completo foi alojado em uma caixa projetada especificamente para o dispositivo e produzida por uma impressora 3D. Este invólucro não só ofereceu proteção física aos componentes eletrônicos, mas também conferiu ao dispositivo um aspecto profissional e customizado.

Para uma compreensão detalhada da arquitetura e da disposição dos componentes de hardware utilizados neste projeto, a Figura 2 mostra um esquema ilustrativo da arquitetura do hardware.

Figura 2 – Diagrama de blocos da solução.



Fonte: elaboração dos autores. (2025)

Por fim, visando à experiência do usuário, foi pensado também na forma como a configuração seria feita pelo usuário final quando ele tivesse em mãos o dispositivo, de modo que ele não precisasse ligar o Raspberry Pi 3B+ e programar para se conectar ao wi-fi. Para solucionar tal problema foi definido na arquitetura do hardware um adaptador *bluetooth* via USB (HC-05) para que facilitasse a implementação e troca de informações entre a aplicação *mobile* e o hardware.

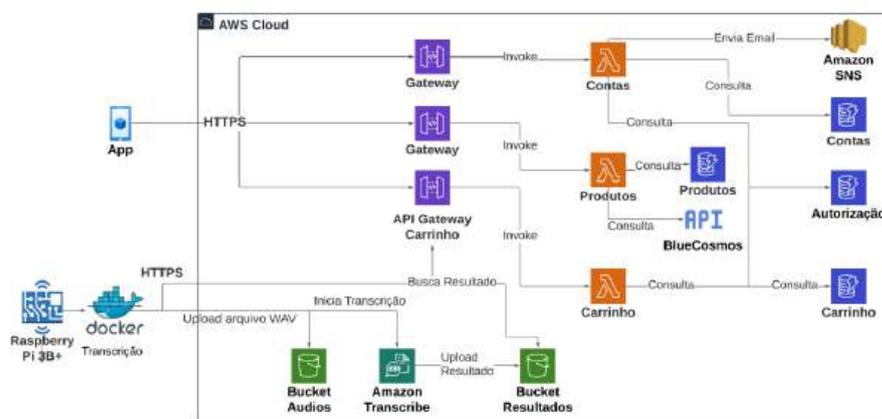
### **Desenvolvimento do aplicativo móvel**

A solução envolveu a criação de um aplicativo móvel que capacitou os usuários a gerenciarem sua lista de compras de maneira simplificada e inteligente. Essa solução foi construída utilizando-se o *framework* de desenvolvimento React Native para desenvolver a interface *mobile*. Já o *back-end* da aplicação foi construído através de APIs *serverless* na linguagem C#, que, por sua vez, foram hospedados em nuvem no provedor AWS através do serviço *Lambda*, disponibilizado para web através do Amazon API Gateway e com o armazenamento dos dados persistentes através do Amazon DynamoDB.

A API de contas utilizou um sistema feito em C# para gerar senhas de uso único, permitindo que os usuários realizassem login, e gerassem tokens únicos para sua identificação nas outras APIs, persistindo os dados em uma tabela do DynamoDB. Já a API de produtos utiliza um sistema em C# para consultar os dados de produtos (nome, código de barras e URL da imagem) e retorná-los ao cliente. A API de carrinho armazena os produtos no carrinho de cada usuário através da criação de objetos no DynamoDB, utilizando também um sistema em C#. A API de transcrição recebe um arquivo WAV, transcreve o texto para obter o produto e a quantidade e aciona a API de carrinho para adicionar o produto, operando com um sistema em C#.

Na Figura 3, pode-se acompanhar o funcionamento do sistema na nuvem de forma visual, com cinco APIs, sendo três delas acessadas pelo App e duas acessadas pelo dispositivo físico, sendo elas: API de contas, API de produtos, API de carrinho, API de transcrição e API da BlueCosmos, para quando não for encontrado o produto no banco de dados.

Figura 3 - Arquitetura geral.



Fonte: elaboração dos autores. (2025)

Ademais, vale ressaltar que se fez necessária a compra de um banco de dados de produtos, visando à rapidez da aplicação para o usuário final na leitura dos códigos de barras e reconhecimento do produto. Porém, mesmo com um banco de dados amplo, foi implementada uma integração com a API BlueCosmos para os casos em que o produto não se encontra na base de dados. Entretanto, apesar de poder ser utilizada para essa alternativa, é inviável tentar usá-la individualmente devido ao limite de 25 consultas diárias no nível gratuito. A API BlueCosmos pode ser acessada através do *link* <https://cosmos.bluesoft.com.br> (Cosmos, 2024).

Além disso, as senhas foram armazenadas em formato de *hash*, através do algoritmo SHA256, impossibilitando o acesso a dados confidenciais. O algoritmo foi escolhido devido ao equilíbrio entre segurança e desempenho, garantindo a segurança sem comprometer o desempenho (Nist, 2012).

### *Jornada do usuário*

A jornada do usuário foi essencial para entender como o indivíduo interage com o sistema, desde a configuração inicial do dispositivo até o uso diário. A análise detalhada de cada interação do usuário, ilustrada na Figura 4, permitiu otimizar as interfaces e melhorar continuamente a interação com o aplicativo.

Figura 4 – Mapa da jornada do usuário.



Fonte: elaboração dos autores (2025).

Além do mais, para que o usuário conseguisse entender como configurar o seu dispositivo pela primeira vez e como utilizá-lo após essa configuração foram criados vídeos que estão disponíveis no Youtube, no canal oficial do CartNinja: <https://www.youtube.com/@CartNinjaOficial>.

### *Integração entre hardware e aplicativo móvel*

O processo de implementação englobou a interconexão entre o hardware e as APIs através de uma arquitetura *serverless* que constituíram a infraestrutura da solução. A implementação *API gateways* na

arquitetura do projeto permite que as funções no *AWS Lambda* sejam acessadas através da internet, fazendo com que as partes do sistema se comuniquem através do protocolo *HTTPS*.

A leitura do código de barras é feita pelo scanner MH-ET Live, que envia os dados para a API de carrinho através do próprio Raspberry Pi 3B+, com um código em python. Em seguida, a aplicação acessa o banco de dados com os produtos já inseridos.

O recurso de *speech to text* foi implementado de forma que, ao clicar no botão, o microfone capta o áudio por 4 segundos, transmitindo os dados para Raspberry Pi 3B+ em formato WAV, que, mesmo sendo um arquivo relativamente pesado quando comparado com outros formatos, foi mantido devido ao fato de não ser comprimido, mantendo o áudio do jeito que é recebido e sem perda de qualidade (IBM; Microsoft, 1991). Em seguida, os dados são enviados para uma API rodando em um contêiner Docker no próprio Raspberry Pi 3B+. Esta API envia o arquivo WAV para uma API de transcrição em nuvem, que realiza a conversão de fala para texto, o qual, uma vez transcrito, é então capturado e enviado para a API de carrinho, que insere o produto na lista de compras.

Trabalhando em conjunto com o restante do hardware, a solução permite que os usuários tenham melhor controle dos produtos em sua dispensa ao automatizar o processo de criação de uma lista de compras virtual. Dessa maneira, retirou-se a etapa de escolher manualmente produtos domésticos que acabaram, evitando duplicação na hora de realizar as compras.

### *Teste da solução*

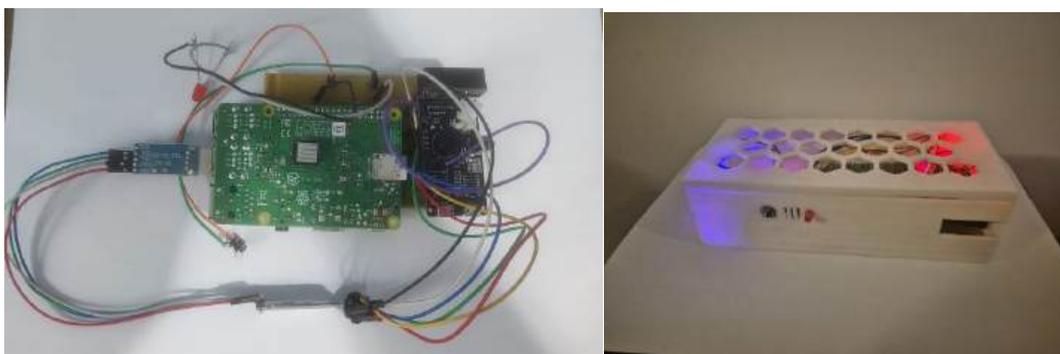
Para validar a solução, foram realizadas pesquisas com os usuários envolvidos. A primeira, antes da implementação da solução, com o objetivo de detectar a situação atual de desperdício de alimentos na residência do usuário. A segunda pesquisa teve o objetivo de realizar uma avaliação *in loco* da percepção do usuário em relação ao funcionamento do sistema. Após isso, os retornos dos usuários foram analisados e as melhorias ao longo dos testes foram implementadas.

Todos os testes foram realizados com o consentimento dos usuários no momento da coleta de dados, sendo disponibilizados termos de uso claros e transparentes, informando de maneira detalhada como as informações seriam utilizadas, armazenadas e protegidas, de forma a seguir os princípios vigentes da LGPD. Os formulários utilizados para a coleta de informações foram aplicados em dois momentos: antes do uso da aplicação, por meio do formulário disponível no *link* <https://repocartninja.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Formulario-pre-teste.pdf>, e após a utilização da aplicação, por meio do formulário disponível no *link* <https://repocartninja.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Formulario-pos-teste.pdf>.

## *Resultados e discussão*

No desenvolvimento deste projeto, a interação entre a concepção teórica e a prática foi essencial para superar os desafios e obter uma solução viável e funcional. Na Figura 5, à esquerda, é possível observar o protótipo colocado na placa de fenolite, e, à direita, a versão final do protótipo.

Figura 5 – Protótipo na placa de fenolite (à esquerda) e versão final do protótipo (à direita).



Fonte: elaboração dos autores (2025).

Essas figuras mostram que este protótipo incorporou não apenas a funcionalidade robusta e a interatividade do sistema, mas também refletiu a atenção dedicada à estética e ao design prático.

### *Viabilidade financeira*

Este projeto também contemplou uma avaliação criteriosa da viabilidade financeira, focalizando os custos associados ao desenvolvimento do protótipo. Essa análise incluiu, principalmente, a aquisição dos componentes. A transparência na divulgação dos custos foi crucial para assegurar a replicabilidade e a sustentabilidade do projeto, permitindo a compreensão clara dos recursos financeiros necessários para sua execução.

Para o protótipo, foram gastos R\$ 816,27 abrangendo a aquisição de componentes essenciais. Entre os itens, destacam-se o Raspberry Pi 3B+ (R\$ 380,00), o scanner MH-ET Live (R\$ 300,00), o adaptador TTL Serial USB (R\$ 18,27), o módulo HC 05 (R\$ 35,00), o microfone INMP441 (R\$ 38,00), a placa de fenolite (R\$ 20,00) e a resina para fabricação da caixa 3D (R\$ 25,00). Além disso, foram investidos R\$ 120,00 em um banco de dados de produtos, garantindo a infraestrutura básica.

Os custos mensais para a manutenção da infraestrutura em nuvem, previstos para 100 usuários, totalizam R\$13,13. Esses custos incluem *AWS Lambda* (\$ 0,15), *Amazon DynamoDB* (\$ 0,51), *Amazon API Gateway*

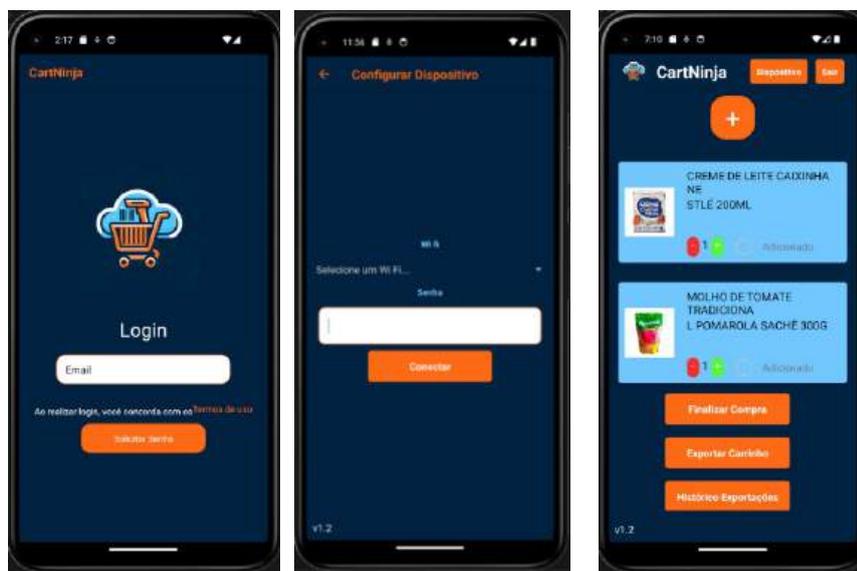
(\$ 0,35), Amazon *Transcribe* (\$ 12,00) e Amazon S3 (\$ 0,12). Essa estrutura garante o funcionamento contínuo do sistema e sustenta a escalabilidade do projeto. Todo esse cálculo pode ser acessado através do *link* da calculadora de AWS:

<https://calculator.aws/#/estimate?id=ab35ecab3fb793fca6e2c46c5e644c368e3bb51c>.

### *Aplicativo móvel*

O aplicativo móvel foi desenvolvido para facilitar a experiência do usuário, adotando um design minimalista e intuitivo. A interface de login é simples e inclui o *link* para os termos de uso, que podem ser conferidos através do *link* <https://reprocartninja.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Termos+de+Uso+TCC+Carrinho+de+Compras+Virtual.pdf>, garantindo, assim, conformidade com a LGPD. As telas do aplicativo móvel podem ser vistas na Figura 6, da esquerda para a direita, respectivamente, contemplando a interface de login, a interface de configuração do dispositivo e a interface principal, todas elas com um design limpo e intuitivo.

Figura 6 – Abas do aplicativo móvel.



Fonte: elaboração dos autores (2025).

A tela de configuração do dispositivo mantém a consistência estética com a tela de login. Ela foi criada com o intuito de informar ao usuário acerca do estado atual da conexão do dispositivo. O design também foi criado para ser direto, focando na funcionalidade essencial da configuração do dispositivo. Já a interface principal do aplicativo ficou responsável por ser a área onde os usuários gerenciam sua lista de compras virtual. Os produtos foram listados com opções para ajustar quantidades a um indicador visual de 'Adicionado', realçando o status do produto no carrinho. Botões de ação '+' para adição de produtos e 'Finalizar Compra' são elementos proeminentes, promovendo uma experiência de usuário fluida e eficaz.

Ademais, nessa aba também tem a opção de 'Exportar Carrinho' e verificar o histórico de exportações, o que permite que a lista de compras seja enviada e compartilhada entre as pessoas.

Esse design do aplicativo móvel refletiu os objetivos do projeto de simplificar a montagem de uma lista de compras. Para tal função, o uso de cores contrastantes utilizando a paleta de cores da identidade visual do produto não apenas melhorou a usabilidade, mas também criou uma experiência visual agradável. O aplicativo pode ser baixado pelo *link*: <https://repocartninja.s3.sa-east-1.amazonaws.com/app-release.apk>.

### ***Resultados da usabilidade da solução***

Para testar a solução, foram construídos dois dispositivos, que foram testados em 3 (três) residências diferentes por um período de três semanas, para avaliar e verificar se o objetivo do projeto foi atingido, além de obter retorno dos usuários finais.

Na primeira residência, apesar do aplicativo estar em uma versão inicial sem identidade visual, os usuários elogiaram sua interface intuitiva e a conveniência de adicionar produtos por comandos de voz. Como melhoria, sugeriram a funcionalidade de exportar carrinho, que foi implementada nas residências seguintes. Já na segunda residência, destacou-se a eficiência do scanner de códigos de barras e a integração com a rotina diária. Contudo, foram apontadas falhas no reconhecimento de voz em ambientes ruidosos e lentidão na entrada de produtos por comando de voz. Por fim, na terceira residência, o sistema foi elogiado por incentivar o planejamento de compras, mas houve sugestão para uma interface mais personalizável, com abas para uso individual por membros da família.

### ***Análise comparativa das residências***

Antes da implementação da aplicação, os usuários relataram dificuldades no gerenciamento do estoque doméstico, com frequentes idas ao supermercado devido a itens esquecidos ou compras duplicadas, gerando estoque desnecessário. Os pré-formulários também indicaram interesse em uma solução que ajudasse na organização das compras e redução de idas ao mercado.

Após a utilização da aplicação, os resultados foram positivos, sendo que nas três residências foram destacadas a facilidade de se criar listas de compras, melhorando a gestão de estoque e tornando as compras mais eficientes. Apesar de não haver redução no número de idas ao supermercado devido ao curto período de testes, muitos relataram satisfação geral e indicaram que recomendariam a tecnologia. Problemas menores, como falhas no reconhecimento de voz em ambientes ruidosos, demora na adição de itens ao carrinho por voz e ausência de integração com carrinhos para exportação foram mencionados,

mas não comprometeram a experiência. Além disso, a economia de dinheiro foi frequentemente apontada como benefício, graças à reposição mais eficiente do estoque residencial.

Os usuários sugeriram diversas melhorias para a aplicação, como a personalização de notificações, criação de abas para uso individual por membros da família e funcionalidades para direcionar compras a mercados específicos, eliminando a necessidade de sair de casa. Apesar das experiências dos usuários terem sido amplamente positivas, essas sugestões apontam áreas importantes para futuras atualizações e aperfeiçoamentos.

### *Código-fonte*

No Quadro 3, estão presentes os *links* dos repositórios do GitHub que foram utilizados para o versionamento do código.

Quadro 2 – Códigos e repositórios

Descrição	Link
Código da aplicação <i>mobile</i> utilizando React Native	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/app-mobile">https://github.com/ProjetoRepositor/app-mobile</a>
Códigos em <i>python</i> e <i>shell script</i> que configuram o RaspBerry Pi 3B+ para fazer a leitura de código de barras, leitura de áudio e configuração do <i>wi-fi</i> por <i>bluetooth</i> .	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/firmware">https://github.com/ProjetoRepositor/firmware</a>
API de carrinho para adicionar produtos na lista de compras seguindo o padrão <i>serverless</i> em nuvem.	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/backend-carrinho">https://github.com/ProjetoRepositor/backend-carrinho</a>
API de transcrição que roda dentro de um container Docker no RaspBerry Pi 3B+.	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/backend-api-transcricao">https://github.com/ProjetoRepositor/backend-api-transcricao</a>
API de produtos que faz a busca pelo código de barras, seguindo o padrão <i>serverless</i> em nuvem.	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/backend-api-produtos">https://github.com/ProjetoRepositor/backend-api-produtos</a>
Arquivo em <i>shell script</i> para configurar automaticamente o raspberry na primeira vez em que for ligado.	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/setup-raspberry">https://github.com/ProjetoRepositor/setup-raspberry</a>
API de contas que configura o acesso dos usuários seguindo o padrão <i>serverless</i> em nuvem.	<a href="https://github.com/ProjetoRepositor/backend-contas">https://github.com/ProjetoRepositor/backend-contas</a>

Fonte: elaboração dos autores (2025)

## *Considerações finais*

Este artigo desenvolveu uma solução para auxiliar na redução do desperdício alimentar residencial a partir da simplificação do processo de montagem de uma lista de compras, utilizando leitura de código de barras e reconhecimento de voz. O projeto teve em sua composição um aplicativo móvel construído com *React Native*, uma infraestrutura *serverless* em nuvem para suportar as APIs e um banco de dados em nuvem,

além de componentes de hardware que compuseram a solução *IoT*, a fim de tornar possível a adição de produtos à lista do usuário de forma segura, escalável e resiliente.

Por limitações de tempo e recursos, os testes foram realizados em apenas 3 residências por um curto período, sendo possível efetuar apenas uma análise qualitativa desses resultados obtidos. Recomenda-se, então, para projetos futuros a ampliação da quantidade e duração dos testes, o que permitirá a realização de análises quantitativas sobre a durabilidade do hardware, escalabilidade e impacto da solução na redução do desperdício alimentar. Além disso, vale ressaltar que a ideia original do projeto também contava com o encaminhamento direto para aplicativos ou mercados para reabastecimento automático de estoque. Essa funcionalidade pode ser desenvolvida como uma melhoria futura, permitindo entregas automáticas e eliminando a necessidade de deslocamento do usuário.

Para melhorias futuras, sugere-se ainda substituir a API da AWS por um modelo de *machine learning* com treinamento local, acelerando a transcrição de voz, tirando, assim, a dependência de uma API externa de transcrição e contribuindo para acelerar esse processo de adição de itens no carrinho quando feito por voz. Ademais, o projeto enfrenta desafios associados à transição deste protótipo para um produto com produção em larga escala, sendo um dos principais obstáculos a necessidade de aprovação por órgãos regulatórios, como a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) no Brasil. Por fim, embora o protótipo tenha demonstrado potencial, a escalabilidade do projeto exige uma análise cuidadosa dos aspectos de fabricação e distribuição, sendo que mudanças significativas nos componentes de hardware podem ser necessárias para atender requisitos de custo, durabilidade, sustentabilidade e eficiência em uma operação de escala comercial.

Por fim, um relatório técnico detalhado foi elaborado para apresentar o projeto, de forma a tentar vender a solução desenvolvida, e está disponível no *link*

[https://www.canva.com/design/DAGC47Yilfg/8v0NB1bcMFobiW3HtXoAug/edit?utm\\_content=DAGC47Yilfg&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link2&utm\\_source=sharebutton](https://www.canva.com/design/DAGC47Yilfg/8v0NB1bcMFobiW3HtXoAug/edit?utm_content=DAGC47Yilfg&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton).

## *Referências*

AWS. Amazon web documentation, 2024. AWS, 2024. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/>. Acesso em: 6 maio 2024.

BASNIAK, M.I.; LIZIERO, A.R.. A impressora 3D e novas perspectivas para o ensino: possibilidades permeadas pelo uso de materiais concretos. **Revista Observatório**. [S. l.], v. 3, n. 4, p. 445–466, 2017. DOI: 10.20873/uft.2447-4266.2017v3n4p445. Disponível em:

<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/observatorio/article/view/3321>. Acesso em: 14 jun. 2024.

BLUESOFT Cosmos. **O que é o bluesoft cosmos?**. Disponível em: <https://cosmos.bluesoft.com.br/o-que-e-o-cosmos>. Acesso em: 10 set. 2023.

**BRASIL. Lei Nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 ago. 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm). Acesso em: 30 de novembro de 2023.

**BRASIL. Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD).** BNDES, 2024. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/lgpd>. Acesso em: 12 maio 2024.

DANZIGER, Pamela N. Smart carts may be the disruptive technology grocery stores need now. *Forbes*, 3 ago. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/pamdanziger/2023/08/03/smart-carts-maybe-the-disruptive-technology-grocery-stores-need-now/?sh=42444ab64588>. Acesso em: 6 maio 2024.

DOCKER. **Docker Docs.** Disponível em: <https://docs.docker.com/guides>. Acesso em: 22 maio 2024.

FAROOQ, M. S. *et al.* An evaluation framework and comparative analysis of the widely used first programming languages. **PLoS ONE**. South Africa, v. 9, n. 2, p. e88941, 24 fev. 2014. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0088941>. Acesso em: 20 maio 2024.

FARR-WHARTON, G.; FOTH, M. V; CHOI, J. H.-J. Identifying factors that promote consumer behaviours causing expired domestic food waste: Factors promoting behaviours causing food waste. **Journal of consumer behaviour**. USA, v. 13, n. 6, p. 393–402, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cb.1488>. Acesso em: 27 ago. 2023.

FLANAGAN, D. **JavaScript: Master the World's Most-Used Programming Language.** Sebastopol: O'Reilly Media, Incorporated, 2020.

GOOGLE cloud. **O que é computação na nuvem?**. Disponível em: <https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-computing?hl=pt-br#:~:text=O%20Google%20Cloud%20>. Acesso em: 12 maio 2024.

IBM. **O que é uma API de REST?**. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/rest-apis>. Acesso em: 12 maio 2024.

INSTITUTO Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa de orçamentos familiares (POF) 2017-2018: Análise da Segurança Alimentar no Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28903-10-3-milhoes-de-pessoas-moram-em-domicilios-com-inseguranca-alimentar-grave>. Acesso em: 26 ago. 2023.

MDN. **MDN web docs.** Disponível em: <https://developer.mozilla.org/pt-BR/>. Acesso em: 6 maio 2024.

MICROSOFT. **.NET.** Disponível em: <https://dotnet.microsoft.com/pt-br/>. Acesso em: 12 maio 2024.

MICROSOFT LEARN. **C#.** <https://learn.microsoft.com/pt-br/dotnet/csharp/>. Acesso em: 13 maio 2024.

NIST. **Recommendation for applications using approved hash algorithms.** Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-107r1.pdf>. Acesso em: 12 junho 2024.

ONU. **Goal 2: Zero hunger.** Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/hunger/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

PRAJWAL, T.; SOWMYA, K. B. **Inter-IC sound (I2S) interface for dual mode bluetooth controller.** Singapore: Springer, 2024. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-8763-1\\_32](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-8763-1_32). Acesso em: 13 mar. 2024.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Food waste index report 2021.** Nairobi: UNEP, 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021#:~:text=As%20estimativas%20sugerem%20que%20,pe%C3%A7as%20e%20para%20o%20planeta>. Acesso em: 22 ago. 2023.

RASPBERRY Pi Foundation. **Raspberry pi foundation: About Us.** Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/about/>. Acesso em: 6 maio 2024.

REACT Native. **Core components and APIs**. Disponível em: <https://reactnative.dev/docs/components-and-apis>. Acesso em: 6 maio 2024.

REIS, S. N.; HIUGA, S. H.; Lupinetti, V.A.; Oliveira, W.A. **Monitoramento de despesa residencial com auxílio da assistente virtual Alexa**. Biblioteca Virtual CEFSA. Disponível em: <https://cefsa.bnweb.org/bnportal/em/pt-BR/search?exp=Monitoramento%20de%20despesa%20residencial%20com%20aux%C3%ADlio%20da%20assistente%20virtual%20Alexa%20>. Acesso em: 10 ago. 2023.

RESCORLA, E. **SSL and TLS: designing and building secure systems**. Boston: Addison-Wesley, 2004. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/358346>. Acesso em: 12 maio 2024.

SCRUM. **What is Scrum?**. Disponível em: <https://www.scrum.org/learning-series/what-is-scrum/what-is-scrum>. Acesso em: 22 junho 2025.

SERVERLESS. **The serverless application framework**. Disponível em: <https://www.serverless.com/>. Acesso em: 6 maio 2024.

SIAW-YEBOAH, F. et al. GHBS-13 as an enhanced EAN-13 barcode module for monitoring processed consumable products in Ghana. *Engineering reports*. [S. l.], v. 5, n. 6, 20 dez. 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eng2.12612?af=R>. Acesso em: 10 fev. 2024.

TYPESCRIPT. **Documentation typeScript for the new programmer**. Disponível em: <https://www.typescriptlang.org/docs/handbook/typescript-from-scratch.html>. Acesso em: 12 maio 2024.

VAN ROSSUM, G. (Python development team). **The python library reference**. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/3217659>. Acesso em: 15 jan. 2024.

VON PFLUG, P.; KRISCHKER, D. **Aspects of the use of MEMS microphones in phased array systems**. *Proceedings of Internoise, Germany*, v. 13, n. 6, p. 393–402, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cb.1488>. Acesso em: 27 ago. 2023.

# Redes neurais: transformando um *smart campus* por meio do monitoramento de pessoas com e sem mobilidade reduzida

*Neural networks: transforming a smart campus through the monitoring of people with and without reduced mobility*

## Engenharia de Controle e Automação

**Victor Inácio de Oliveira** ([pro14724@cefsa.edu.br](mailto:pro14724@cefsa.edu.br))

Doutor em Engenharia de Automação e Controle pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade Presbiteriana Mackenzie

**Ricardo Janes** ([ricardo.janes@mackenzie.br](mailto:ricardo.janes@mackenzie.br))

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade de Engenharia Industrial (FEI) e da Universidade Presbiteriana Mackenzie

**Rogério Issamu Yamamoto** ([pro15804@cefsa.edu.br](mailto:pro15804@cefsa.edu.br))

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade Presbiteriana Mackenzie

**Nilson Yukihito Tamashiro** ([pro5827@cefsa.edu.br](mailto:pro5827@cefsa.edu.br))

Mestre em Engenharia Biomédica pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC) e professor da Faculdade Engenheiro Salvador Arena e da Universidade São Judas Tadeu (USJT)

**Bruno Luis Soares de Lima** ([bruno.lima@mackenzie.br](mailto:bruno.lima@mackenzie.br))

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie

**Matheus Santana Ferreira** ([matheus.k.santanaferreira@gmail.com](mailto:matheus.k.santanaferreira@gmail.com))

Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie

FTT Journal of Engineering and Business

- SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2025
- ISSN 2525-8729

Submissão: 10 dez. 2024 Aceitação: 28 maio 2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 96 - 117

FTT JOURNAL  
of Engineering and Business



## *Resumo*

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento capaz de identificar pessoas com e sem mobilidade reduzida, destacando aquelas que utilizam dispositivos para auxiliar na movimentação como cadeira de rodas e muletas, gerando um mapa de calor que auxilia no entendimento do fluxo de pessoas dentro do campus da Universidade Presbiteriana Mackenzie. O modelo foi desenvolvido com a arquitetura de visão computacional YOLOv8 a partir de um *dataset* de imagens montado com imagens de licença CC 4.0. Toda a etapa de aprendizado foi executada em ambiente do *google colab* e, posteriormente, o processamento foi realizado por um Raspberry Pi 4 e uma câmera HD. Os resultados demonstraram que o modelo utilizado foi capaz de detectar todas as classes com indicadores satisfatórios de desempenho, gerando mapas de calor e possibilitando o envio de notificações caso pessoas com mobilidade reduzida necessitassem de auxílio para se locomover no campus.

**Palavras-chave:** Rede Neural. Análise de Dados. Visão Computacional. Fluxo de Pessoas

## *Abstract*

This study aims to develop a monitoring system capable of identifying people with and without reduced mobility, with emphasis on individuals using mobility assistance devices such as wheelchairs and crutches, generating a heat map that helps in understanding the flow of people within the campus of Universidade Presbiteriana Mackenzie. The model was developed using the YOLOv8 computer vision architecture based on a dataset of images compiled from CC 4.0 licensed images. The entire learning phase was executed in a Google Colab environment, and the subsequent processing was carried out using a Raspberry Pi 4 and an HD camera. The results demonstrated that the model used was able to detect all classes with satisfactory performance indicators, generating heat maps and allowing notifications to be sent, if individuals with reduced mobility needed assistance to move around the campus.

**Keywords:** Neural Network. Data Analysis. Computer Vision. People Flow

# Introdução

Com a evidente ascensão de políticas para ampliar e democratizar o acesso ao ensino superior no Brasil, como o Plano de Ensino Nacional (PEN), que visa aumentar o número de jovens entre 18 e 24 anos matriculados em alguma instituição de ensino superior em 50% até 2024, de acordo com a Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014 (Brasil, 2014), é de se esperar que o fluxo de pessoas em um campus universitário conseqüentemente cresça também, em um contexto de uma sociedade cada vez mais conectada a múltiplos dispositivos e mais adepta do auxílio de redes neurais e da inteligência artificial.

O cálculo do fluxo de pessoas em um campus universitário sem o uso da inteligência artificial e das redes neurais envolve métodos tradicionais de contagem e análise. Por exemplo, contagem manual, sensores de movimento, cartões de acesso e registros de presença, pesquisas e questionários. Por meio da inteligência artificial e da análise de dados avançada pode-se aprimorar a precisão no monitoramento do fluxo de pessoas, identificando padrões e tendências, prevendo o futuro e assim tornando a gestão do campus mais eficiente e eficaz.

O tema de *Smart Campus* é uma derivação de uma temática maior e mais abrangente, o de *Smart Grids* ou *Smart Cities*, que tem por objetivo a melhoria da qualidade de vida das pessoas por meio da implantação de sistemas de inteligência artificial. O tema incorpora uma série de tecnologias de informação e de comunicação para monitorar, controlar e otimizar recursos em contextos variados. As ideias iniciais acerca dele surgiram no final do século 20, impulsionadas pelo progresso nas tecnologias de telecomunicações e computação. Já no século 21, o tema ganhou mais força devido à alta demanda de dados gerados diariamente e da necessidade de um meio para utilizá-los de alguma forma. (Dong et al., 2016).

Dito isto, um maior número de pessoas em um campus universitário aumenta em consequência de diferentes demandas no que diz respeito aos recursos da instituição de ensino; no caso deste projeto, trata-se de análise de acesso igualitário para a transposição dos entraves que representam as barreiras para a efetiva participação de pessoas nos vários âmbitos da vida social, como a mobilidade reduzida, sendo temporária ou crônica. Este trabalho contribui no sentido de oferecer auxílio às diferentes vertentes de monitoramento e ampliar as aplicações de seus benefícios em um contexto mais amplo. Assim, o objetivo deste projeto é elaborar uma rede neural auxiliada por câmeras capaz de monitorar e conseqüentemente gerar relatórios e produzir *forecasts* a respeito do fluxo de pessoas ao longo do dia, além das demandas de acessibilidade de pessoas com mobilidade reduzida em um campus universitário.

# *Revisão de Literatura*

## *Smart Campus*

Em um contexto de integração com a tecnologia, pode-se definir um *smart campus* como uma “infraestrutura inteligente onde sensores e atuadores colaboram para coletar informações e interagir com máquinas, ferramentas e usuários em um campus universitário” (Fraga-Lamas *et al*, 2019). Assim, uma vez que o conceito de um *Smart Campus* é derivado do conceito de *Smart Cities*, é visto de tal maneira que seu objeto passa a ser considerado como uma cidade, compartilhando, em grande parte, os mesmos problemas de uma cidade convencional, (Bandeira; Neto, 2022).

## *Conceito de acessibilidade e inclusão*

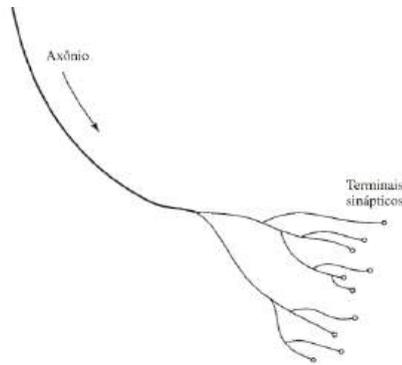
A acessibilidade consiste na ideia de possibilitar a inclusão de um indivíduo com qualquer tipo de deficiência na participação ativa no uso de produtos, serviços e informações, tendo como objetivo principal promover oportunidade de igualdade, segurança e autonomia na execução de qualquer atividade. (Decreto nº 6.949, 2009).

## *Rede neural artificial*

Segundo Haykin (2009), pode-se definir uma rede neural da seguinte maneira: “Uma rede neural é um processador, maciçamente e paralelamente distribuído, constituído de unidades de processamento simples, que têm propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para uso.” (HAYKIN, 2009)

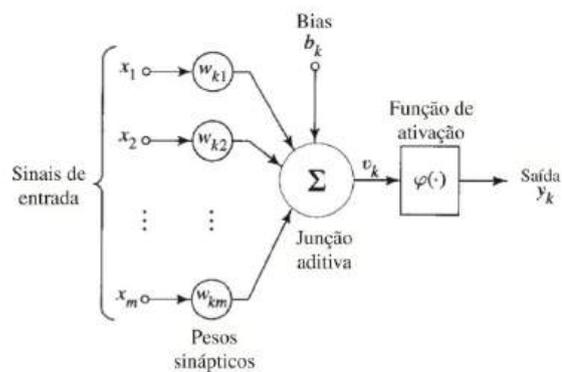
A arquitetura da rede neural consiste em uma interface capaz de emular a maneira como um cérebro realiza tarefas ou uma função de interesse; sua implementação se dá a partir de componentes eletrônicos ou simulações em um computador, e seu desempenho depende diretamente de uma interligação de células denominadas “neurônios” ou “unidades de processamento” (Haykin, 2009). Nas figuras 1 e 2 podemos comparar as semelhanças entre os neurônios de um cérebro humano e os de uma rede neural, respectivamente.

Figura 1 - Célula Pirâmidal de um Cérebro Humano e Neurônio Artificial



Fonte: Haykin (2009)

Figura 2 - Neurônio Artificial



Fonte: Haykin (2009)

Sendo ‘ $\omega$ ’ o valor de um peso sináptico; ‘ $x$ ’ os valores de entrada; ‘ $y$ ’ os valores de saída; ‘ $b$ ’ os valores de bias, que alteram a liquidez da somatória de ativação, mudando se ela for positiva ou negativa.

Assim, baseado no modelo da figura 2, pode-se descrever o modelo matemático de um neurônio artificial por meio das seguintes equações 1 e 2.

$$v_k = \sum_{j=0}^m \omega_{kj} x_j \quad (\text{equação 1})$$

$$y = \varphi(v_k) \quad (\text{equação 2})$$

Onde 'j' é a entrada de sinapse conectada ao neurônio k multiplicada pelo peso sináptico  $\omega$ .

Para tomar suas decisões, uma rede neural leva em consideração um fator denominado peso sináptico, que consiste em números positivos ou negativos que aumentam o fator de decisão de uma rede neural por meio dos neurônios que enviam e dos neurônios que recebem a informação; assim, quanto maior o peso sináptico, mais certeza (ou crença) uma rede neural tem a respeito de uma decisão. (Roque, 2024)

### *Rede neural convolucional*

Uma rede neural convolucional ou *Convolutional Neural Network* (CNN) consiste em uma arquitetura de rede neural profunda utilizada para reconhecimento e agrupamento de imagens, podendo identificar, por exemplo, rostos e objetos dentro de cenas.

Sua composição consiste em camadas de dois estágios de processamento, sendo o primeiro deles a camada convolucional, que extrai as informações de entradas, e uma camada de *pool*, que mantém as informações mais importantes baseadas nos mapas de características determinadas; em uma etapa seguinte, uma Rede Perceptron de Multicamadas (MLP) é utilizada para analisar as informações, agora abstratas, e transformá-las em modelos preditivos capazes de detectar os objetos nas imagens. Portanto, a CNN não enxerga uma imagem como os humanos, mas sim, como um conjunto de textos que indicam coordenadas dentro de um *grid*.

### *Classificação de imagem*

No âmbito de uma CNN, a classificação de imagem tem por objetivo prever qual objeto está nela contido; a ação de identificar o objeto e atribuir a ele uma classe é chamada localização.

Para prever qual objeto pertence a determinada classe, uma CNN utiliza um conceito conhecido como *bouding box* (Caixa Delimitadora), que é responsável por definir quais são os limites que compõem a estrutura de um objeto, isto é, seu início e seu fim, podendo, dessa forma comparar a imagem amostrada com um *dataset* de características, apresentando no final uma porcentagem que indica a confiabilidade da classificação executada. (Redmon, J. 2018)

Uma CNN pode ser treinada para possuir caráter multiclasse, sendo assim capaz de reconhecer múltiplos objetos diferentes simultaneamente (Redmon, J. 2018).

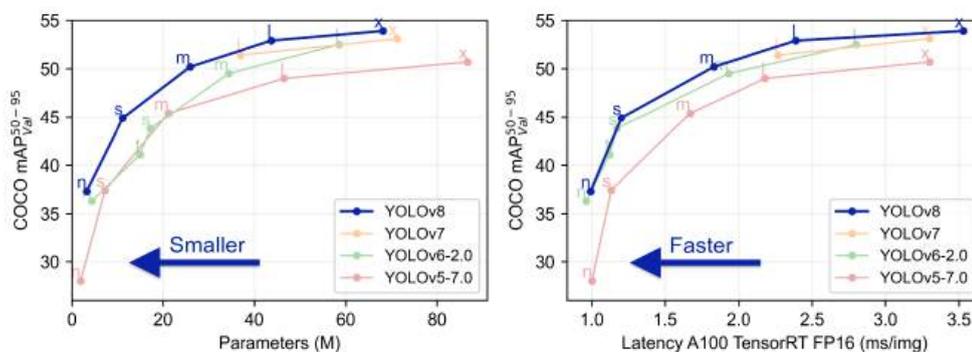
### *Modelo de classificação de imagens Yolo*

Dentre as redes neurais mais utilizadas para a classificação de imagem, a YOLO (*You Only Look Once*) possui o maior(melhor) desempenho quando comparada às demais. (Ultralytics, 2024).

A YOLO consiste em uma CNN *open source* de detecção de objetos e segmentação em tempo real. Seu maior(melhor) desempenho ocorre porque, como seu próprio nome indica, a YOLO realiza múltiplas classificações por meio de uma única visualização da imagem, conseguindo assim gerar diversas caixas delimitadoras, exigindo menor poder de processamento e menor tempo de execução. (Ultralytics, 2024)

Na figura 3, podemos notar como a arquitetura YOLO se sobressai em relação a outros modelos no quesito de classificação de imagem.

Figura 3 - Desempenho do YOLOv8 comparado a versões anteriores em relação a parâmetros reconhecidos e tempo de latência respectivamente.



Fonte: Ultralytics (2024).

### Algoritmo de previsão

No que diz respeito à previsão relacionada ao fluxo de pessoas, há metodologias amplamente difundidas, como a clusterização, um método de aprendizado não supervisionado, utilizado para identificar padrões de comportamento em grandes bases de dados, sendo vista como um meio de segmentação que organiza dados em subconjuntos os quais compartilham padrões e propriedades similares, no caso deste trabalho, de tempo e quantidade de indivíduos.

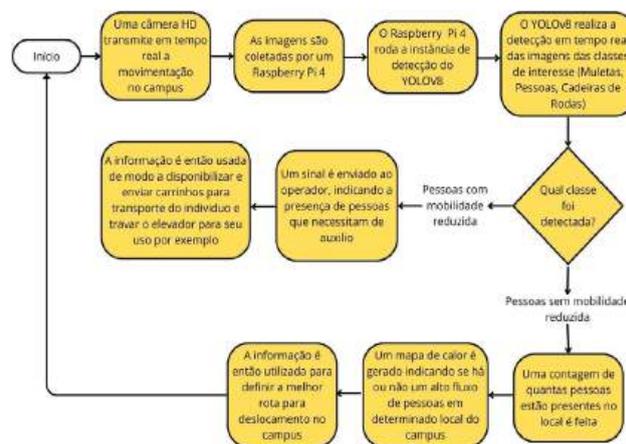
## Metodologia

O funcionamento se inicia a partir de uma câmera HD que coleta as imagens em um determinado local do campus da Universidade Presbiteriana Mackenzie; esta câmera, por sua vez, está conectada a um *Raspberry Pi 4* que atua sendo o centro de todas as operações; as classes de pessoas com e sem mobilidade reduzida são detectadas e, na sequência, separadas em dois grupos distintos com uma ação diferente para cada um deles.

Para as pessoas com mobilidade reduzida, a informação de sua presença é enviada para os responsáveis a fim de melhorar sua experiência de deslocamento, como por exemplo, acionar os carros de deslocamento interno para realizar a locomoção dessas pessoas entre um ponto e outro da faculdade, ou então, segurar o elevador para que elas possam ter prioridade no uso desse equipamento. Já para as pessoas sem mobilidade reduzida é realizada uma contagem que tem por finalidade gerar um mapa de calor a respeito do fluxo de pessoas na região e definir a melhor rota para deslocamento no campus.

A visualização desta arquitetura está na figura 4:

Figura 4 - Arquitetura do projeto



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Para o pleno funcionamento, a seguinte arquitetura foi elaborada:

### *Aquisição de informações via câmeras*

Foi utilizada uma câmera HD conectada ao *Raspberry*.

### *Armazenamento dos dados*

O grande volume de dados gerados requer que um banco de dados seja utilizado para armazenar as informações coletadas no tópico 3.1 antes de serem enviados para a plataforma de gerenciamento pela lógica de processamento. O *DynamoDB* e o *Firebase* foram utilizados.

## *Plataformas de processamento*

Todas as etapas do treinamento foram realizadas no ambiente do *Google Colab*, que oferece acesso gratuito a recursos de computação, incluindo *Graphic Processing Units (GPUs)*, que no contexto dessa plataforma, é realizado por meio de máquinas virtuais dedicadas destinadas a atender as demandas de aprendizagem de uma CNN. A GPU dedicada do *Google Colab* é uma Tesla V100 da Nvidia. Quanto à análise dos dados coletados, o ambiente do *Posit Cloud* foi utilizado para elaborar gráficos e modelos matemáticos preditivos. O desempenho dos modelos foi avaliado a partir da curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) e de parâmetros de acurácia como o erro médio quadrático.

## *Aprendizagem da rede neural*

Para realizar o aprendizado de uma rede neural utilizando a arquitetura YOLO diversas etapas menores foram realizadas.

## *Criação de um dataset*

A primeira etapa do processo foi criar um *dataset* com todas as imagens que foram utilizadas durante o treinamento, as quais devem estar acompanhadas de arquivos de extensão txt, que possuem anotações com coordenadas cartesianas indicando a posição de uma caixa delimitadora que contém o objeto de interesse na imagem.

As imagens podem ser obtidas em *datasets online*; neste projeto, os datasets foram obtidos nos sites *Roboflow* e *Open Images Dataset*, e possuem uma licença CC BY 4.0, que concede ao usuário liberdade para “copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial; remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial.”. (Creative Commons, 2024). As fotos do *dataset* foram separadas em dois grupos: *train*, que possui o maior volume de imagens e é responsável pelo treinamento em si e *valid*, que é responsável por validar o treinamento e verificar qual porcentagem de certeza a CNN possui a respeito de determinado objeto.

## *Importação da biblioteca*

Uma vez definidos e agrupados em um *dataset* único, a arquitetura YOLOv8 da *ultralytics* foi importada; o YOLOv8 possui 6 variações, sendo elas: YOLOv8n, YOLOv8s, YOLOv8m, YOLOv8l e YOLOv8x. Cada uma delas possui maior precisão de detecção que sua versão anterior, porém, conseqüentemente exige um maior processamento. O modelo YOLOv8n foi utilizado neste projeto.

## Treinamento da rede neural

Com o *dataset* importado e o modelo a ser utilizado configurado iniciou-se o treinamento customizado da rede neural. Para tanto, configurações foram realizadas, como tamanho da imagem, velocidade de aprendizado e em quantas épocas o treinamento seria realizado; uma época diz respeito a uma passada completa da rede neural por todas as imagens de treino e validação disponíveis, e para que uma rede neural possa apresentar resultados satisfatórios cerca de 300 épocas são necessárias.

## Quanto à pesquisa envolvendo seres humanos

A Universidade Presbiteriana Mackenzie dispõe de um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) que possui como atribuição fundamental “divulgar, no âmbito da UPM, normas relativas à ética em pesquisa envolvendo seres humanos e procedimentos deste Comitê” (Conselho Universitário da Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2022). Deste modo, esta pesquisa visa estar de acordo com as normas no que diz respeito ao tratamento de dados relacionados aos que são gerados envolvendo seres humanos.

Por desenvolver processos de análise de imagem de maneira quantitativa, que independem do uso de características faciais, como parte da metodologia, foi realizada a ocultação dos rostos capturados por câmeras.

# Resultados

## Aprendizado de máquina

Após 300 épocas realizadas em cerca de 50 horas, os seguintes resultados foram obtidos no treinamento realizado para pessoas com muletas e cadeiras de rodas.

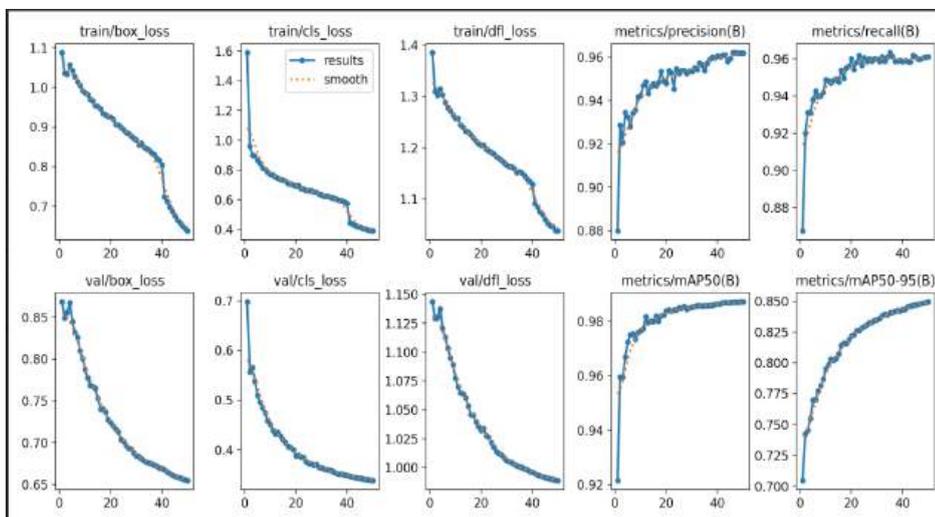
Quadro 1 - Resultados do aprendizado de máquina para muleta e cadeira de rodas

Classe	Precisão de Caixa Delimitadora	Recall	mAP50	mAP50-95
Muleta	0,957	0,944	0,989	0,803
Cadeira de rodas	0,933	0,979	0,992	0,896
Média	0,962	0,961	0,987	0,85

Fonte: elaboração do autor (2024).

Ao todo, cerca de 29 mil imagens foram usadas no aprendizado de máquina, sendo 25 mil delas utilizadas para treinamento e 4 mil para validação. A rede neural conseguiu apresentar resultados excelentes em ambientes controlados, como é possível observar na precisão da caixa delimitadora e no mAP50, mas sua confiabilidade é ligeiramente afetada devido ao *overfitting*, isto é, uma situação na qual a rede neural se adaptou excessivamente à base de dados, o que resultou em uma pequena queda de desempenho para imagens que não compõem a base de dados. No entanto, a confiabilidade apresentada ainda é alta o suficiente para garantir a aplicação do projeto. As métricas de desempenho podem ser visualizadas na figura 5.

Figura 5: Resultados do aprendizado de máquina.



Fonte: elaboração do autor (2024).

Na linha de cima, podemos visualizar todos os parâmetros de treinamento, enquanto na linha de baixo, vemos os valores de validação. É possível notar que à medida que o número de épocas aumentou, o erro da caixa delimitadora diminuiu em *box\_loss*, juntamente também com o erro de classe, enquanto as métricas de *precision* e *recall* aumentaram, resultados estes que eram esperados nesse método de aprendizado. Os resultados positivos puderam ser observados tanto na etapa de treinamento quanto na de validação.

Uma vez que a rede neural foi treinada corretamente, uma segunda etapa conhecida como transferência de conhecimento foi efetuada; isso ocorre quando um treinamento é realizado a partir de pesos já treinados anteriormente. O objetivo desta etapa foi criar uma rede neural capaz de compreender que tanto pessoas com muletas quanto indivíduos com cadeira de rodas possuem mobilidade reduzida, compilando-se duas classes em apenas uma, sendo indiferente do ponto de vista

analítico se essa redução foi causada por cadeira de rodas ou por muletas. Além disso, devido a limitações de hardware, tanto o pré-processamento quanto o processamento em tempo real são beneficiados ao se tratar de apenas uma classe. Assim, as figuras 6 e 7 contêm os resultados de detecção da rede neural no ambiente do *colab*.

Figura 6 : resultados de detecção de pessoas com mobilidade reduzida devido a cadeira de rodas com 91% de precisão.



Fonte: Open Images Dataset, modificadas pelos autores (2024).

Figura 7 - Resultados de detecção de pessoa com mobilidade reduzida com 88% de precisão.



Fonte: Open Images Dataset, modificadas pelos autores (2024).

Levando em consideração as questões de ética anteriormente citadas, no que diz respeito a testes realizados na Universidade Presbiteriana Mackenzie, todas as imagens foram borradas na etapa de pré-

processamento por meio da opção *blur* presente no YOLO; a figura 8 exemplifica como as imagens são visualizadas na GUI (*Graphic User Interface*):

Figura 8 - Detecção realizada entre os prédios 5 e 6 da Universidade Presbiteriana Mackenzie.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Também devido à capacidade limitada de processamento do hardware e do modelo YOLO8vs adotado, é possível notar que há uma distância máxima de detecção para qualquer uma das classes; logo, pessoas mais ao fundo da imagem tendem a não terem sua imagem borrada; no entanto, elas ainda permanecem irreconhecíveis.

### *Monitoramento via Raspberry*

Uma vez que a rede neural foi treinada e testada, ela foi utilizada para o formato NCNN, que consiste em uma biblioteca de interferência de redes neurais para alto desempenho em dispositivos móveis, possibilitando que modelos de aprendizados possam ser executados de maneira mais rápida e eficaz em dispositivos com menor poder de processamento. O objetivo dessa portabilidade foi poder executar a detecção das classes a partir de um *Raspberry Pi 4* com as seguintes características de processamento:

- Processador: Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.8GHz
- Memória RAM: 4GB LPDDR4-3200 SDRAM

Assim, os testes passaram a ser realizados com monitoramento em tempo real utilizando a unidade de processamento do *Raspberry*; todas as informações coletadas são enviadas ao SQLite em formato de uma planilha relacional, que contém as seguintes colunas:

- ID
- Classe
- Timestamp
- Contagem

De modo que toda vez que a Rede Neural detecta qualquer uma das duas classes, uma linha é adicionada no banco de dados, que poderá ser utilizada posteriormente; além disso, o *Raspberry* gera o mapa de calor de pessoas nesta etapa.

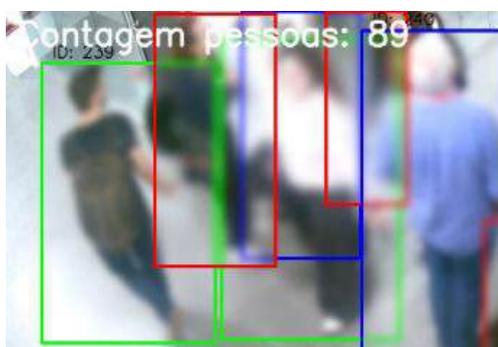
A câmera HD foi instalada no laboratório de Engenharia Elétrica e coletou os dados por uma semana; todos os valores armazenados foram enviados ao banco de dados *DynamoDB*. A figura 9 demonstra como os dados foram armazenados, e a figura 10 mostra como a imagem processada é visualizada pelo usuário.

Figura 9 - Valores armazenados no *DynamoDB*

<input type="checkbox"/>	<b>Id (Número)</b>	<b>class</b>	<b>person_count</b>	<b>timestamp</b>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">151</a>	person	9	2024-10-31 20:08:44.461149-03:00
<input type="checkbox"/>	<a href="#">145</a>	person	1	2024-10-31 19:59:07.467830-03:00
<input type="checkbox"/>	<a href="#">142</a>	person	0	2024-10-31 19:58:54.178280-03:00
<input type="checkbox"/>	<a href="#">139</a>	person	19	2024-10-31 19:56:45.574661-03:00
<input type="checkbox"/>	<a href="#">138</a>	person	19	2024-10-31 19:56:45.450302-03:00
<input type="checkbox"/>	<a href="#">135</a>	person	12	2024-10-31 19:52:13.737556-03:00
<input type="checkbox"/>	<a href="#">132</a>	person	19	2024-10-31 19:56:45.326227-03:00

Fonte: elaboração dos autores (2024).

Figura 10 - Exemplo de Detecções Realizadas.



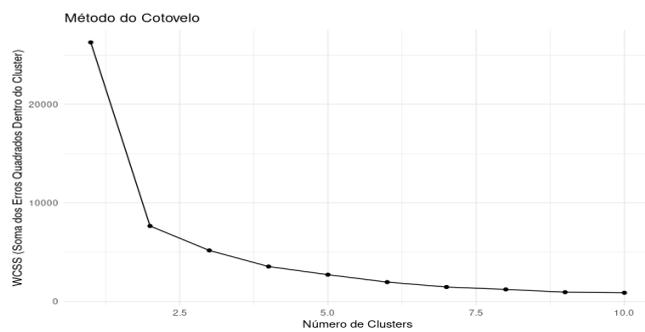
Fonte: elaboração dos autores (2024).

Pode-se notar na figura 10 que a rede neural aplica um *blur* no corpo inteiro de todas as pessoas detectadas; além disso, atribui um ID único para auxílio da contagem de pessoas e também conta o número de pessoas que passaram pelo local.

### Análise dos dados obtidos

Ao todo, foram detectadas 1600 pessoas ao longo de quatro dias, sendo eles: segunda-feira, terça-feira, quinta-feira e sexta-feira. Os valores obtidos foram analisados em linguagem R por meio da plataforma *Posit Cloud*. A análise foi obtida por meio de agrupamentos de *cluster*, onde inicialmente o método do cotovelo (*elbow method*) foi utilizado para determinar qual seria o número ideal de *clusters* de acordo com o volume de dados; o método consiste em calcular as distâncias quadradas dentro dos *clusters* até o momento em que elas se estabilizam. A figura 11 mostra a curva calculada.

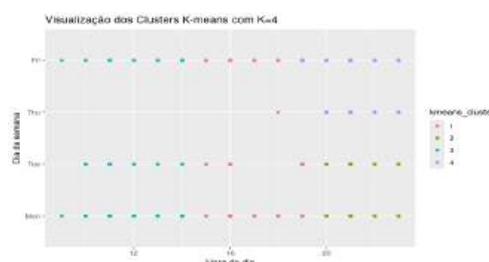
Figura 11 - Elbow Method



Fonte: elaboração dos autores (2024).

É possível observar que a partir de dois *clusters* a curva apresenta uma desaceleração significativa, especialmente partindo de quatro *clusters*, demonstrando que a partir deste ponto o aumento de *clusters* tem pouca influência nos resultados. Na sequência, um agrupamento foi gerado utilizando  $k = 4$ , sendo  $k$  o número de *clusters* utilizados. A segmentação foi feita utilizando-se os dias da semana e as horas do dia como variáveis nos eixos  $y$  e  $x$  respectivamente. Os *clusters* foram gerados a partir de 40 amostras aleatórias da base de dados; com dessa forma, os resultados da figura 12 foram obtidos.

Figura 12 - Segmentação dos dados por clusters

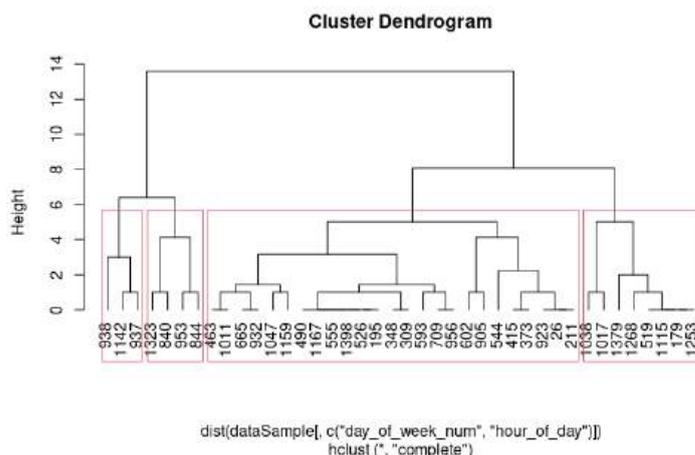


Fonte: elaboração dos autores (2024).

O Cluster 1 é identificado pela cor vermelha e aparece em várias horas do dia para todos os dias da semana. O de número 2 é representado pela cor verde e aparece em algumas horas específicas em diferentes dias. O terceiro aparece na cor azul, com uma distribuição própria de dias e horas. O Cluster 4 é mostrado em roxo e apresenta um padrão distinto. Por meio dessa análise, é possível concluir que a hora do dia tem impacto significativo no fluxo de pessoas no local. Essa distribuição sugere que há quatro padrões distintos de lotação na base de dados, mostrando uma segmentação clara neste quesito e possibilitando análises mais aprofundadas sobre o tráfego de pessoas.

Para averiguar se a hipótese de que diferentes horários no dia influenciam no fluxo de pessoas, um dendograma de clusterização hierárquica foi gerado.

Figura 13 - Dendrograma de clusterização hierárquica



Fonte: elaboração dos autores (2024).

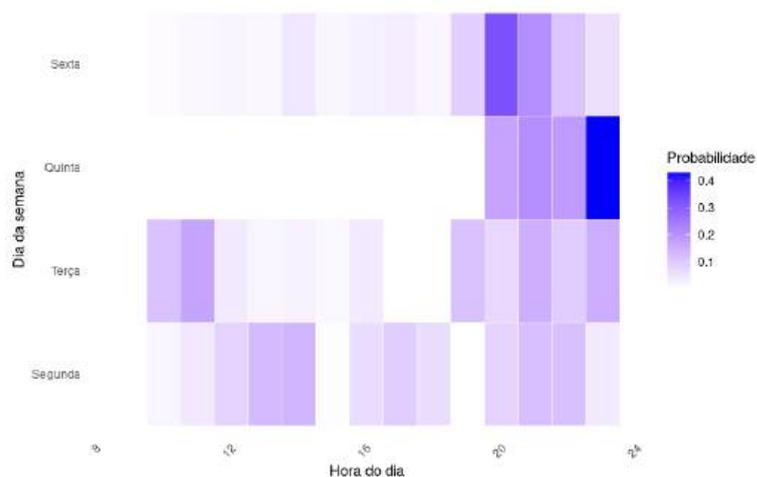
A visualização indica que, em níveis iniciais de fusão, os pontos de dados parecem ser agrupados de maneira lógica com base na similaridade temporal (dia da semana e hora do dia). À medida que a altura do dendrograma aumenta, as observações de grupos mais amplos se fundem, sugerindo que esses agrupamentos representam padrões distintos de comportamento ao longo do tempo.

Com a segmentação bem definida e condizente com a realidade, foi possível elaborar um modelo capaz de calcular a probabilidade de haver ao menos 15 pessoas nos corredores do laboratório em todas as horas do dia e, além disso, de construir um gráfico com um mapa de calor do número de IDs únicos detectados durante os dias.

Assim, o dendrograma sugere que a clusterização hierárquica dos dados resulta em 4 grupos bem definidos, cada um com padrões distintos de presença ao longo do tempo, podendo representar

diferentes comportamentos ou características temporais, como variações na presença de pessoas ou atividades ao longo da semana e do dia.

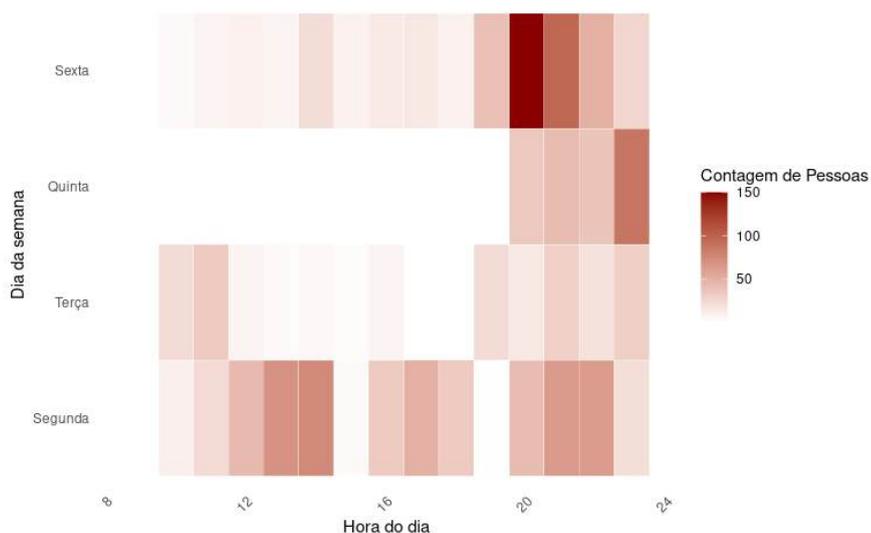
Figura 14 - Probabilidade de presença de pessoas com base na hora e dia da semana



Fonte: elaboração dos autores (2024).

É possível observar que o gráfico reflete um padrão de presença mais acentuado nos últimos dias da semana, ao final da noite, o que condiz com o comportamento ocasionado pelo final do horário acadêmico, enquanto nos demais dias da semana apresenta-se um comportamento mais homogêneo de distribuição. Outro gráfico gerado foi o de um mapa de calor mostrando a contagem de pessoas únicas em determinadas horas do dia.

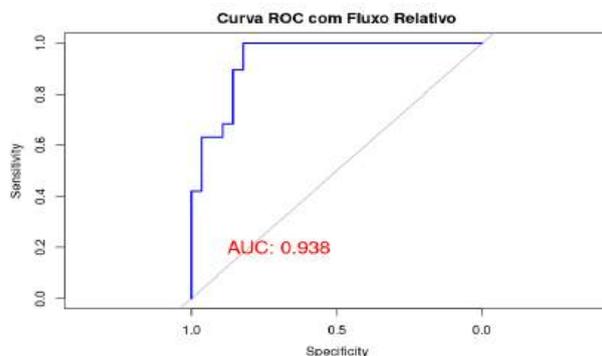
Figura 15 - Mapa de calor de contagem de pessoas



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Por fim, tendo em vista averiguar a precisão do modelo adotado, uma curva ROC foi gerada, sendo esta uma ferramenta de classificação binária entre a taxa de verdadeiros positivos e a taxa de verdadeiros negativos que são plotadas nos eixos Y e X respectivamente.

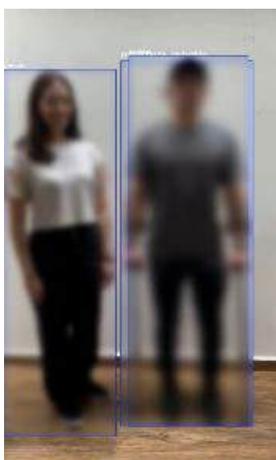
Figura 16 - Curva ROC do modelo de predição.



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Nota-se que a curva sobe rapidamente do ponto (0,0) até o ponto (1,1), demonstrando uma boa eficácia na classificação de observações dada a distância entre a curva e a linha diagonal. Ao analisarmos o valor AUC (Área Sob a Curva), obtemos um valor de 0,938, ou aproximadamente 93,8% de chance de classificar corretamente uma instância positiva em comparação com uma negativa. Outro fator importante para a avaliação do modelo foi a acurácia de 80%, adequada para as condições observadas, mas que pode ser melhorada à medida que a base de dados também aumenta. Dito isto, é importante ressaltar que durante todo o período de coleta de dados nenhuma pessoa com mobilidade reduzida foi detectada; no entanto, a rede neural é capaz de detectar com precisão as pessoas nessas condições, conforme demonstra a figura 17, que foi realizada em um ambiente controlado devido à falta de amostras no ambiente real.

Figura 17 – Detecção de mobilidade reduzida em ambiente controlado



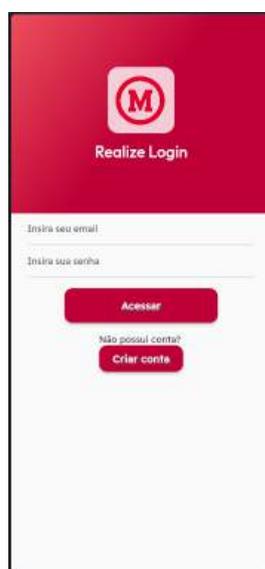
Fonte: elaboração dos autores (2024).

É possível observar que o modelo reconhece duas pessoas e, além disso, reconhece uma pessoa com mobilidade reduzida simultaneamente, gerando três caixas delimitadoras.

### *Interface gráfica de usuário*

Para realizar a interação entre os dados coletados e os usuários que a querem acessar, um aplicativo foi desenvolvido na interface *Flutterflow*, um site que possibilita a criação *low-code* de aplicativos para celulares e computadores.

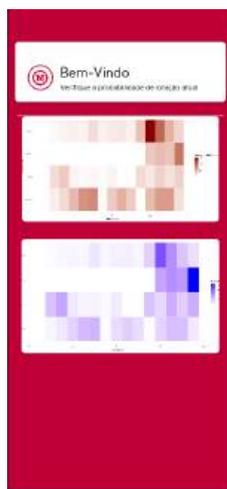
Figura 18 - Tela inicial do aplicativo desenvolvido em *Flutterflow*



Fonte: elaboração dos autores (2024).

Para que o aplicativo pudesse ler corretamente os valores registrados no *DynamoDB*, uma rotina foi criada no AWS Lambda para extrair todos os valores armazenados em formato *.json*. Na sequência, uma API (*Application Programming Interface*), criada no AWS API Gateway, automatiza o processo de extração; a URL da API gerada foi inserida no *flutterflow* e é executada por meio de uma *API Call*, atualizando a base periodicamente. Por fim, ações condicionais permitem que os valores sejam atualizados toda vez que um timer interno seja zerado dentro do aplicativo e possibilitando notificações de pessoas com mobilidade reduzida. A figura 19 exemplifica o que é visto pelo usuário.

Figura 19 – Dados apresentados aos usuários.



Fonte: elaboração dos autores (2024)

## *Considerações finais*

É possível determinar que o modelo adotado é capaz de reconhecer com alto grau de precisão as classes de pessoas e pessoas com mobilidade reduzida em tempo real, armazenando instantaneamente todos os dados coletados em um banco *NoSQL* e possibilitando a predição do fluxo de pessoas baseada em diferentes horários e dias por meio de análise detalhada dos dados, viabilizando a visualização de mapas de calor, padrões temporais e notificações de assistência para pessoas com mobilidade reduzida.

No entanto, é importante salientar como a limitação de hardware influencia negativamente a solução como um todo; ao se considerar fatores como escalabilidade, o *Raspberry 4* não consegue atender a demanda de maneira eficaz; isso ocorre devido ao seu processamento de memória RAM, que impede que ele detecte pessoas em quantidades acima de 30 Ids únicos simultaneamente, sendo, neste caso, necessária uma GPU dedicada apenas para a detecção das pessoas no campus, possibilitando o maior aproveitamento da arquitetura aqui proposta.

Ademais, uma vez que a arquitetura não depende de etapas adicionais, é notável o seu potencial de escalabilidade para todo o campus da Universidade Presbiteriana Mackenzie, visto que o modelo adotado demonstrou uma alta taxa de acurácia, reforçando sua capacidade de contribuir significativamente com insights valiosos a respeito dos padrões de comportamento dos estudantes bem como da presença de pessoas com necessidades especiais. Para trabalhos futuros, recomenda-se o foco na escalabilidade do projeto, focando em capacidade de processamento e entrega de informações ao usuários por meio do monitoramento em tempo real e em larga escala do campus, possibilitando maiores insights e aplicando

um maior volume de dados, sendo possível acrescentar, por exemplo, variáveis de diferentes locais no campus, horários de aulas e grades de horários para cada curso a fim de aumentar a precisão das previsões.

## Referências

- ALVES, G. Detecção de Objetos com YOLO – Uma abordagem moderna. Disponível em: <https://iaexpert.academy/2020/10/13/deteccao-de-objetos-com-yolo-uma-abordagem-moderna>. Acesso em: 20 abr. 2024.
- BERTAGLIA, R. Acessibilidade: exemplos, tipos e como se enquadrar às normas?, 2022. Disponível em: <https://www.handtalk.me/br/blog/acessibilidade-exemplos/>. Acesso em: 4 out. 2023.
- BRASIL. LEI Nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação - PNE e dá outras providências. **Diário Oficial da União** - Brasília, DF, p. 1, 26 jun. 2014. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm). Acesso em: 4 out. 2023.
- BRASIL. Decreto nº 6.949, de 25 de agosto de 2009. Decreta a Convenção Internacional sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo. **Diário Oficial da União** - Brasília, DF, p. 3, 26 ago. 2009. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm). Acesso em: 21 abr. 2024.
- CHUA, L. O.; ROSKA, T. The CNN paradigm. **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications**, v. 40, n. 3, p. 147-156, mar. 1993. doi: 10.1109/81.222795.
- CONSELHO NACIONAL DO MINISTÉRIO PÚBLICO. Acessibilidade. Disponível em: <https://www.cnpm.mp.br/portal/acessibilidade>. Acesso em: 20 abr. 2024.
- CONSELHO UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE (CONSU). Resolução re-consu-014/2022 de 01 dezembro de 2022. Disponível em: [https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/pro-reitoria/pesquisa-e-pos-graduacao/coordenadoria-de-pesquisa/comites-de-etica-em-pesquisa/2018/humanos/Res\\_CONSU\\_014\\_2022\\_-\\_Alteracao\\_do\\_Regimento\\_do\\_Comite\\_de\\_Etica\\_em\\_Pesquisa\\_Envolvendo\\_Seres\\_Humanos\\_CONSU\\_473\\_M7\\_Republic\\_Assinada-3.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/pro-reitoria/pesquisa-e-pos-graduacao/coordenadoria-de-pesquisa/comites-de-etica-em-pesquisa/2018/humanos/Res_CONSU_014_2022_-_Alteracao_do_Regimento_do_Comite_de_Etica_em_Pesquisa_Envolvendo_Seres_Humanos_CONSU_473_M7_Republic_Assinada-3.pdf).
- DIRETORIA DE ESTATÍSTICAS EDUCACIONAIS. **Censo da Educação Superior 2021** Notas Estatísticas. Disponível em: [https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/notas\\_estatisticas\\_censo\\_da\\_educacao\\_superior\\_2021.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/notas_estatisticas_censo_da_educacao_superior_2021.pdf). Acesso em: 4 out. 2023.
- EDUCAÇÃO, S. Acesso ao ensino superior no Brasil: veja um panorama geral! Blog Saraiva Educação, 2020. Disponível em: <https://blog.saraivaeducacao.com.br/acesso-ao-ensino-superior/>. Acesso em: 4 out. 2023.
- FACELI, K.; LORENA, A. C.; GAMA, J.; et al. **Inteligência Artificial** - Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9788521637509. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521637509/>. Acesso em: 20 abr. 2024.
- FERRAZ, Junior. Educação superior no Brasil é historicamente limitada e necessita de políticas públicas de acesso, 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/atualidades/formacao-na-educacao-superior-nao-podeprescindir-de-politica-de-ciencia-tecnologia-e-inovacao/>. Acesso em: 4 out. 2023.
- FRAGA-LAMAS, P.; CELAYA-ECHARRI, M.; LOPEZ-ITURRI, P.; CASTEDO, L.; et al. Design and Experimental Validation of a LoRaWAN Fog Computing Based Architecture for IoT Enabled Smart Campus Applications. **Sensors**, 2019, 19, 3287. Acesso em: 17 abr. 2024.
- GIRSHICK, R. et al. Region-Based Convolutional Networks for Accurate Object Detection and Segmentation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 38, n. 1, p. 142-158, 1 jan. 2016. doi: 10.1109/TPAMI.2015.2437384.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. Porto Alegre, RS: Grupo A, 2007. E-book. ISBN 9788577800865. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577800865/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Plano Nacional de Educação - PNE. Disponível em: <https://pne.mec.gov.br/>. Acesso em: 4 out. 2023.

MIRANDA, A. et al. Usando Redes Neurais Artificiais e Regressão Logística na Predição da Hepatite A. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rbepid/v8n2/04.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2023.

REDMON, J. et al. You only look once: Unified, real-time object detection. 2016 **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**, 2016. Acesso em: 20 abr. 2024.

ROQUE, A. Psicologia Conexionista: do neurônio biológico ao neurônio das redes neurais artificiais. Disponível em: <http://sisne.org/Disciplinas/PosGrad/PsicoConex/aula3.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2024.

ULTRALYTICS. **Guia: Raspberry Pi para YOLO**. Disponível em: <https://docs.ultralytics.com/pt/guides/raspberry-pi/>. Acesso em: 14 out. 2024.

ULTRALYTICS. **Guia: Desfoque de Objetos com YOLO**. Disponível em: <https://docs.ultralytics.com/guides/object-blurring/?h=blur>. Acesso em: 14 out. 2024.

VINA, A. YOLOv8 Turns One: Um ano de avanços e inovações. Disponível em: <https://www.ultralytics.com/pt/blog/ultralytics-yolov8-turns-one-a-year-of-breakthroughs-and-innovations>. Acesso em: 30 abr. 2024.

# Fatores críticos de sucesso na implantação da metodologia CDIO: o caso de uma faculdade de tecnologia

*Critical success factors in the implementation of the  
CDIO methodology: the case of a technology college*

## Gestão Educacional

**Valter João de Souza** ([jvalter2002@yahoo.com.br](mailto:jvalter2002@yahoo.com.br))

Doutor em Administração pela Universidade Nove de Julho (Uninove)  
e professor da Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos (Fatec-SJC)

**Roque Antonio de Moura** ([roque.moura@fatec.sp.gov](mailto:roque.moura@fatec.sp.gov))

Doutor em Engenharia Biomédica pela Universidade de Mogi das Cruzes  
(UMC) e professor da Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos (Fatec-  
SJC)

**Messias Borges Silva** ([messias.silva@usp.br](mailto:messias.silva@usp.br))

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas  
(Unicamp) e professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Química da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo  
(USP)

FTT Journal of Engineering and Business

• SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP JUN. 2024

• ISSN 2525-8729

Submissão: 09 dez. 2024 Aceitação: 28 maio.2025

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

FACULDADE ENGENHEIRO SALVADOR ARENA, p. 118 - 135

FTT JOURNAL  
*of Engineering and Business*



## *Resumo*

As grandes mudanças que afetaram a humanidade nas últimas décadas em todas as suas áreas de atividade trouxeram, como uma de suas principais consequências, a necessidade de revisão e inovação de métodos para adequação a esta nova realidade. A área da educação está em processo de descobrimento de uma metodologia que consiga atender ao novo perfil de estudante, utilizando-se das novas tecnologias emergentes e que, de alguma forma, podem afetar o processo de ensino-aprendizagem, contribuindo para a obtenção de melhores resultados. Nesse sentido, este trabalho tem como principal objetivo promover uma análise sobre o processo de implementação da metodologia CDIO (*Conceive-Design-Implement-Operate*), concebida inicialmente para os cursos de engenharia, mas que começou a ser utilizada nos cursos de tecnologia. Para atingir o objetivo proposto, optou-se por uma pesquisa qualitativa, por meio de um estudo de caso, utilizando-se da análise de conteúdo para análise dos dados. Como resultado, pôde-se detectar quais são os principais fatores críticos de sucesso para a implementação dessa metodologia. Conclui-se que a adequação das metodologias de ensino-aprendizagem em instituições de ensino é fundamental para a melhoria de sua eficiência e eficácia.

**Palavras-chave:** CDIO. Ensino-aprendizagem. Metodologias Ativas.

## *Abstract*

The major changes that have affected humanity in recent decades in all areas of activity have brought, as one of their main consequences, the need to review and innovate methods to adapt to this new reality. The education sector is in the process of discovering a methodology that can meet the new student profile, using new emerging technologies that can somehow affect the teaching-learning process, contributing to achieve better results. In this sense, this paper has as its main objective to promote an analysis of the implementation process of the CDIO (*Conceive-Design-Implement-Operate*) methodology, initially designed for engineering courses, but which began to be used in technology courses. To achieve the proposed objective, a qualitative research was chosen, through a case study, using content analysis for data analysis. As a result, it was possible to detect which are the main critical success factors for implementing this methodology. It is concluded that the adaptation of teaching-learning methodologies in educational institutions is fundamental to improving their efficiency and effectiveness.

**Keywords:** CDIO, Teaching-learning, Active Methodologies.

# *Introdução*

O atual contexto de mudanças tecnológicas e culturais que atingem a humanidade exige que as instituições que trabalham com educação busquem alternativas que contribuam para a mitigação de consequências maléficas, advindas dessas mudanças.

O perfil dos estudantes que acessam as instituições de ensino atualmente é bastante afetado pelos avanços tecnológicos, exigindo dessas instituições adequação e inovação em seus processos de ensino-aprendizagem, sob pena de não sobreviverem no mercado. A evasão estudantil e a formação aquém das necessidades de mercado representam algumas das consequências advindas desse contexto.

Nos cursos de formação superior tecnológica o contexto não é diferente. O mercado profissional exige cada vez mais profissionais que possam agregar valor às suas atividades, por meio de alto desempenho dentro do menor espaço de tempo possível. Estes novos profissionais exigidos pelos mercados devem ter a capacidade de solucionar problemas por meio da utilização de um senso crítico aguçado, da inovação e de iniciativas empreendedoras (Oliveira e Souza, 2021).

Para atender as exigências de mercado, as instituições formadoras desses profissionais necessitam repensar seus métodos de ensino-aprendizagem de tal forma que transformem seus estudantes em profissionais aptos, ao mesmo tempo em que minimizem os problemas e os ajudem a ingressar numa carreira profissional. Isso deverá ser feito especialmente com as novas gerações, de modo que os alunos aprimorem a forma como entendem um problema, concebendo-o, desenvolvendo-o, implementando-o e operacionalizando-o em projetos, trabalhando junto com outros alunos (Moura *et al.*, 2022).

Uma das soluções que tem se apresentado como bastante eficiente no sentido de alinhamento entre a formação e o desempenho de profissionais é a utilização de metodologias ativas para sua formação. Entretanto, apesar de compartilharem um mesmo pressuposto, existe uma profusão de modelos e estratégias na adoção desta solução, sendo que cada uma delas deve vencer barreiras e desafios para sua implementação.

O Massachusetts Institute of Technology – MIT - desenvolveu, no início dos anos 2000, um projeto que visava contribuir para a solução dos problemas que as mudanças tecnológicas e culturais trouxeram para a formação dos engenheiros. O método utilizado para esse fim ficou conhecido como CDIO (*Conceber-*

*Desenhar-Implantar-Operar*) e tem sido difundido com sucesso entre importantes instituições formadoras ao redor do mundo.

Considerando este contexto apresentado, adotou-se como questão norteadora deste trabalho a seguinte proposição: “Quais as dificuldades para a implementação da metodologia CDIO em um curso de tecnologia, sob a ótica de seus gestores?”. Para responder a esta questão procedeu-se a uma pesquisa junto a gestores do curso de tecnologia em que o método foi implementado, para identificar quais os fatores críticos de sucesso (FCS) para adoção do método.

## ***Fundamentação teórica***

### *Cursos de tecnologia*

A educação superior no Brasil tem sofrido bastante com transformações, sendo que os cursos superiores de tecnologia atendem a uma formação mais focada na prática da atividade profissional. Conforme D’Arisbo e Pagliarini (2024), o surgimento do modelo de Curso Superior de Tecnologia (CST) trouxe consigo o desejo de romper o padrão vigente nas instituições de ensino superior, aproximando o egresso destes cursos ao mercado de trabalho.

Conforme Favretto e Moretto (2013), as mudanças no cenário econômico e organizacional apontam para a necessidade de uma sólida educação que atinja todos os trabalhadores. Segundo as autoras, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), de 1996, buscou atender as novas necessidades do mercado de trabalho visando o desenvolvimento de uma educação que atenda simultaneamente ao trabalho, à ciência e à tecnologia.

Segundo Colenci e Colenci Jr. (2004), a educação superior tecnológica constitui-se em um grande passo de uma nação para se tornar estrategicamente competitiva. Entretanto, Moraes e De Albuquerque (2019, p.43) afirmam que:

Em um país marcado pela desvalorização do trabalho e pela mitificação do bacharel e do doutor, a EPT recebe pouco destaque. A pouca atenção do Estado à formação de trabalhadores pode ser percebida desde a estrutura formal da educação brasileira, na qual a EPT aparece de forma apartada, até a carência de suas estatísticas oficiais, necessárias para o acompanhamento e avaliação das políticas educacionais.

Outro grave problema enfrentado pelos cursos superiores de tecnologia é a evasão estudantil, sendo que este problema gera prejuízos a todos os envolvidos no processo, ou seja, as áreas econômica, social e científica da sociedade (Cunha e Morosini, 2013). Ainda segundo estes autores, estudos a respeito do tema apontaram como fatores relacionados a instituições de ensino, questões acadêmicas e currículos desatualizados.

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”

### *Metodologias ativas*

As necessidades de agilidade na formação com qualidade de profissionais que atendam as novas demandas de mercado, o novo perfil dos estudantes, as novas tecnologias e a necessidade de sobrevivência das instituições de ensino superior tecnológico levaram à busca por novos métodos que se apresentassem mais eficientes e eficazes na solução dos problemas no contexto apresentado.

Conforme Cunha *et al.* (2024), as diferentes gerações possuem características relacionadas a um determinado contexto social e histórico influenciado, dentre outros fatores, pela tecnologia. Esta realidade trouxe para discussão do processo de ensino-aprendizagem a necessidade de inclusão de novos métodos que considerem novos estilos de vida e valores das novas gerações de estudantes.

Segundo Palmeira, Da Silva e Ribeiro (2020), as metodologias ativas estão lastreadas em formas de desenvolver o aprendizado, por meio de experiências reais, visando a criação de soluções de problemas advindos da prática social, sob diferentes contextos. O potencial dessas metodologias encontra-se na capacidade de despertar a curiosidade e propor novos elementos ainda considerados em aula (Berbel, 2011). Soares (2021) afirma que as metodologias ativas têm como principal objetivo a promoção de uma educação atualizada e transformadora.

A partir das metodologias ativas é possível estimular a geração de determinados sentimentos nos estudantes, os quais dificilmente seriam alcançados em uma aula sem a aplicação dessa nova técnica. Conforme Berbel (2011), dentre outros benefícios, estão a promoção da autonomia do aluno e a sua percepção de pertencimento e competência.

Silberman (1996), adaptando um provérbio do filósofo Confúcio, escreveu: 1) O que eu ouço, eu esqueço; 2) O que eu ouço e vejo, eu lembro; 3) O que eu ouço, vejo e discuto, começo a compreender; 4) O que eu ouço, vejo, discuto e faço, eu aprendo, desenvolvendo conhecimento e habilidade; 5) O que eu ensino para alguém, eu domino com maestria.

Quando o estudante está motivado para o aprendizado, o processo de aprendizagem ocorre de maneira mais eficiente e rápida. Entretanto, para que ocorra sua motivação, é necessário que esse estudante encontre fundamento na atividade que irá realizar (Bacich e Moran, 2018). Nesse processo, é fundamental, também, o papel do professor que, a partir do conhecimento do aluno, poderá ajudá-lo a melhorar sua compreensão e contribuir com seu crescimento pessoal.

Conforme Elmôr *et al.* (2019), a metodologia tradicional não propicia ao estudante a possibilidade de participação ativa em seu próprio aprendizado, uma vez que o professor é o ator que detém o conhecimento e a forma de avaliação. Estas características tornam o estudante um ator desinteressado no processo de seu próprio aprendizado.

Edström e Kolmos (2014) afirmam que um ambiente de aprendizagem requer a ativa participação de todos os envolvidos no processo de ensino-aprendizagem (professor e estudante) gerando atividades que promovam atitudes de interação, reflexão, colaboração e cooperação. A Figura 1, a seguir, ilustra as principais características das metodologias ativas de acordo com Klein e Alhert (2019).

Figura 1: Metodologias Ativas de Ensino



Fonte: adaptado de Klein e Ahlert (2019).

Lopes (2016) afirma que, para que ocorra uma aprendizagem ativa, é necessário que se tenha em mente que o estudante constrói seu conhecimento. A participação dos estudantes nos processos de aplicação, interação e compartilhamento de suas experiências é o fator que determinará, ou não, seu efetivo aprendizado.

### *Método CDIO*

O contexto vivenciado pelos tecnólogos exige um profissional que tenha competências múltiplas e, dentre elas, a capacidade de iniciativa, criatividade e aproveitamento de oportunidades. Conforme Franca (2022), a estratégia de ensino-aprendizagem que privilegie as etapas de conceber, projetar, implementar e operar (CDIO) é uma metodologia que consegue desenvolver nos futuros profissionais as principais competências requeridas pelo mercado.

Para um curso que pretende ser superior em tecnologia aplicada, a participação do estudante em seu processo de aprendizagem por meio do desenvolvimento de projeto é bastante efetiva e decisiva para o melhor preparo do profissional, fato que pode fazer a diferença para a organização em que irá atuar.

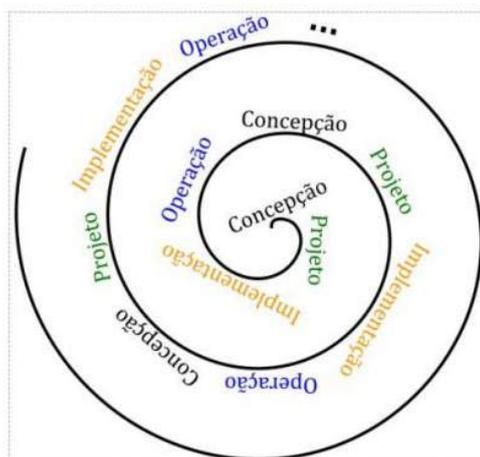
Crawley et al. (2007) afirma que as etapas de “conceber-projetar-implementar-operar” fazem parte de uma metodologia de ensino-aprendizagem bastante eficiente para a formação de engenheiros. Entretanto, mais do que contribuir para a formação de engenheiros, esta metodologia aplicada aos cursos de tecnologia pode acelerar o processo de formação de mão-de-obra altamente especializada que deverá ser acompanhada de outras habilidades socioemocionais como iniciativa, senso crítico e propensão à inovação.

O método surgiu no ano 2000 no Massachusetts Institute of Technology (MIT) e em três Instituições de Educação Superior da Suécia (Royal Institute of Technology, Chalmers Institute of Technology e Linköping University) visando a melhoria na formação de engenheiros.

Conforme Crawley *et al.* (2007) e Bankel *et al.* (2005), as principais características da visão CDIO são: a) a educação é baseada em objetivos claramente articulados ao programa e aos resultados de aprendizagem do aluno, definidos através do envolvimento das partes interessadas; b) os resultados de aprendizagem são alcançados através da construção de uma sequência de experiências de aprendizagem integradas, algumas das quais são experienciais, ou seja, expõem os alunos às experiências que os egressos de seus cursos encontrarão na sua profissão.

Conforme Nader (2014), Müller e Vermaas (2020), Nyiama *et al.* (2023) e Silva e Zanetti (2018), a metodologia prevê o aumento do nível de complexidade para os projetos a serem desenvolvidos pelos estudantes, começando por projetos simples e ir caminhando no sentido de despertar nos estudantes todas as habilidades desejadas e necessárias para que se tornem bons profissionais no mercado de trabalho. Esta evolução é mostrada na Figura 2, a seguir:

Figura 2 – Ilustração de um ciclo espiral de ordem crescente de complexidade.



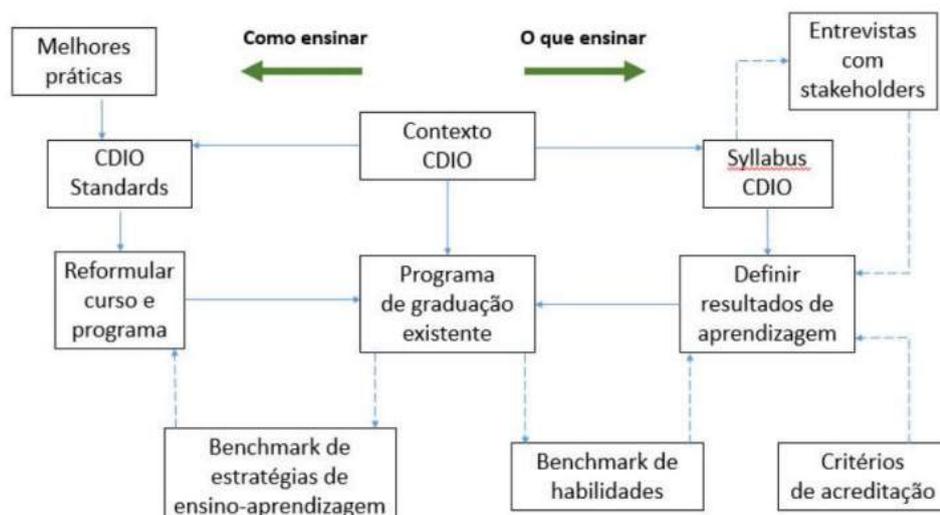
Fonte: Silva; Zanetti, (2018).

No Brasil, existem diversas universidades que já implementaram essa metodologia em seus cursos de engenharia; entretanto, apenas uma delas é formadora de tecnólogos. A seguir, são relacionadas quais são essas instituições: 1) Instituto Militar de Engenharia (IME) - Rio de Janeiro-RJ; 2) Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) - Santa Rita do Sapucaí – MG; 3) Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP) - Lorena – SP; 4) CESUPA – Centro Universitário do Estado do Pará - Belém – PR; 5) Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) – Dourados –MS; 6) Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – FATEC – S. J. dos Campos - SP; 7) Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, RS; 8) UNISAL – Centro Universitário Salesiano de São Paulo.

A implementação dessa metodologia leva em consideração algumas etapas descritas por Crawley et al. (2007) e listadas a seguir: 1) um rigoroso documento para os objetivos de aprendizagem dos alunos: Syllabus; 2) um conjunto claro de características programáticas que definem um programa CDIO: CDIO Standards; 3) suporte para a cultura organizacional e cultural; 4) melhoria das competências de ensino, aprendizagem e avaliação do corpo docente; 5) colaboração entre programas para desenvolvimento paralelo e abordagens de situações comuns; 6) alinhamento com os padrões de ensino nacional e outras importantes iniciativas de reforma (Crawley et al., 2007).

Um fluxograma que representa as etapas a serem seguidas na implementação do CDIO é mostrado a seguir, na Figura 3:

Figura 3 – Implementação da metodologia CDIO



Fonte: Boing (2018) apud Crawley (2017).

A implementação, de acordo com o fluxograma acima, divide-se em dois momentos diferentes: como ensinar e o que ensinar.

Conforme Franca (2022, p 34), a área relacionada ao “o que ensinar”, também chamada de Syllabus, pode ser dividida em quatro categorias:

1. Os resultados de aprendizagem têm como base fundamental o conhecimento técnico das disciplinas, mas vão além disso, pois as demais categorias do CDIO Syllabus especificam resultados de aprendizagem pessoal, interpessoal e de construção de processos, produtos e sistemas.
2. Os resultados de aprendizagem pessoal estão focados no desenvolvimento cognitivo e afetivo de cada aluno, tais como, o raciocínio e a resolução de problemas de engenharia, a experimentação e a descoberta do conhecimento, o pensamento sistêmico, criativo e crítico e a ética profissional, dentre outros.
3. Os resultados de aprendizagem interpessoal devem ter foco nas interações individuais e em grupo, tais como, trabalho em equipe, liderança e comunicação
4. Os resultados de aprendizagem de construção de sistemas e produtos devem focar em conceber, projetar, implementar e operar sistemas em empresas e negócios em contextos sociais.

De acordo, ainda, com esta autora, a área de “como ensinar” refere-se ao conjunto de princípios relacionados com a implantação da metodologia.

O CDIO (2023) está, portanto, baseado em doze princípios padrões, que são: contexto, resultados de aprendizagem, currículo integrado, introdução à engenharia, experiências de projetar e implementar, espaços de trabalho de engenharia, experiências de aprendizagem integrada, aprendizagem ativa, melhoria da competência do corpo docente, melhoria da competência de ensino do corpo docente, avaliação de aprendizagem e avaliação do programa (CDIO, 2023).

## ***Método***

Para se elaborar uma pesquisa, é necessária a adoção de um conjunto de procedimentos que permitam o atingimento dos objetivos propostos. A esse conjunto de procedimentos denominamos método.

Nesta pesquisa, adotou-se a metodologia da pesquisa exploratória descritiva por meio de um estudo de caso. Segundo Gil (1999), uma pesquisa exploratória ajuda a propiciar uma visão geral acerca de determinado fato. Já a pesquisa descritiva, conforme Andrade (2002), preocupa-se em observar, registrar, analisar, classificar e interpretar os fatos. O estudo de caso é um método de pesquisa a respeito de determinado assunto permitindo maior conhecimento a respeito do tema estudado.

A coleta de dados ocorreu por meio de propostas semiestruturadas com dois professores / gestores de cursos e projetos analisados, doravante denominados entrevistado A e entrevistado B. As entrevistas foram marcadas com antecedência de uma semana, tiveram a duração de aproximadamente 90 minutos cada uma e foram gravadas com o consentimento dos participantes. A análise dos dados ocorreu por meio da técnica de análise de conteúdo.

## ***Resultados e discussão***

Neste item, foi elaborada uma breve introdução da instituição de ensino analisada neste trabalho; posteriormente, promoveu-se uma discussão a respeito do processo de implementação da metodologia e a apresentação dos principais fatores críticos de sucesso, conforme a percepção dos entrevistados.

Procedeu-se à apresentação da situação, da instituição analisada, anterior à implementação da metodologia de CDIO (Conceber-Desenhar-Implantar-Operar); o seu processo de adoção e certificação como primeira instituição provedora de cursos de tecnologia, a disseminação para o todo da instituição e, quais foram os fatores críticos de sucesso para a mudança.

### ***Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos – Fatec***

A Faculdade de Tecnologia Professor Jessen Vidal, de São José dos Campos, é uma unidade de ensino do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS. Atualmente, o CEETEPS é uma autarquia do Governo do Estado de São Paulo, vinculada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação, que administra as 228 Escolas Técnicas e as 77 Faculdades de Tecnologia do Estado.

As faculdades de tecnologia atendem a aproximadamente 90 mil alunos, divididos em 91 cursos de graduação tecnológica. Atualmente, são oferecidos nove diferentes cursos de tecnologia na unidade de São José dos Campos (presenciais) e um curso de EaD - Educação à Distância.

### ***A situação pré-implantação***

A Faculdade de Tecnologia Professor Jessen Vidal, de São José dos Campos, está posicionada entre as dez principais unidades do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS - em termos do número de cursos oferecidos e quantidade de estudantes matriculados.

Entretanto, apesar desse bom desempenho, vinha encontrando alguns problemas relacionados a motivos como: evasão de alunos, queda no rendimento de aprendizagem dos estudantes, problemas de

relacionamento professor-estudante, dificuldades com o método de ensino-aprendizagem tradicional, entre outros.

A área de gestão da instituição tinha a percepção clara da necessidade de mudanças na condução do processo ensino-aprendizagem, enquanto formadora de profissionais da área de tecnologia, os quais devem possuir um sincronismo com o mercado em termos de atualização tecnológica.

Foi, então, iniciado no Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas um trabalho no sentido de mudar a rota para um caminho que oferecesse um canal de atualização com o mercado, promovendo atualização das necessidades do mercado de trabalho, melhor relacionamento com os estudantes no sentido de atendimento de suas expectativas relacionadas ao curso e ao mercado, e mitigando a evasão; uma nova trajetória que inovasse o processo já desgastado da metodologia de ensino-aprendizagem tradicional, em que o estudante se torna um ator passivo de seu aprendizado.

A solução veio por meio do contato de um gestor da instituição com a metodologia de CDIO (Conceber-Desenhar-Implantar-Operar), a qual se propõe a ser uma metodologia com ativa participação do estudante em seu processo de aprendizagem. Entretanto, era necessário seguir todo um fluxo de atividades preparatórias para que o objetivo fosse alcançado e com a possibilidade de extensão para todos os cursos da unidade.

A partir desse momento, começou a ser mapeado o estado atual de condução das atividades internas e o levantamento das necessidades para implementação da nova metodologia.

Conforme um dos entrevistados (A), havia uma consciência de que o processo não seria fácil de ser implementado); entretanto, totalmente necessário:

Nós sabíamos que promover mudanças nos processos internos da instituição geraria grandes reações contrárias, considerando fatores como: perfil dos professores, cultura dos estudantes e até o convencimento da instituição mantenedora. Entretanto, havia um índice de evasão grande e, conforme mapeamento anterior, provocado em parte por um desconforto dos estudantes em relação ao método de ensino-aprendizagem. (entrevistado A).

Para o sucesso da implementação, conforme afirma o entrevistado B, o envolvimento da alta direção seria fundamental:

Para que se possa promover mudanças dessa magnitude dentro de instituição de ensino superior, com o agravante de ser um órgão público, é necessário que se tenha muito apoio da alta direção

e, inclusive, da mantenedora. Se você decide mudar e não combina isso com os demais atores, as atitudes contrárias a essa mudança, inclusive por medo, podem minar todo o processo. (entrevistado B).

### *As dificuldades e facilidades de implementação*

Um dos primeiros passos rumo à adoção da metodologia CDIO nos cursos de Análise e Desenvolvimento de Sistemas e Banco de Dados foi a pesquisa e a constatação de que esses cursos (da área de informática) encontravam-se em um estágio mais avançado em relação à estruturação para as necessárias etapas de implementação.

Conforme o entrevistado B, o momento decisivo foi quando a direção da instituição decidiu pelo total apoio ao processo, inclusive se encarregando de convencer a mantenedora de sua necessidade, uma vez que a liberação de recursos para a compra de mobiliário e outros materiais teria que ocorrer.

Esse apoio pode ser detectado na fala dos entrevistados B e A:

A coisa realmente se tornou séria quando, em uma reunião de gestores com a direção, o *go ahead* foi decidido e começamos a mapear processos e criar indicadores, para posteriormente trabalhar com o grupo de professores e estudantes. (entrevistado B)

Difícilmente teríamos conseguido o sucesso na implementação da nova metodologia se a direção da unidade não tivesse apoiado incondicionalmente o projeto desde o seu início, inclusive com ações para evitar a retaliação de atores descontentes com possíveis mudanças. Sabe como é mudança: tira você da zona de conforto. (entrevistado A)

Uma pesquisa realizada com os estudantes e professores, conforme os entrevistados, gerou uma lista de assuntos que deveriam ser trabalhados previamente para evitar maiores barreiras na implementação da nova metodologia. Dentre essas medidas, encontravam-se: 1) professores antigos e que não admitiam mudanças em seus métodos de ensino-aprendizagem; 2) falta de conhecimento para a utilização de novas tecnologias, ou seja, falta de treinamento; 3) falta de interdisciplinaridade: alguns professores não sabiam a respeito dos objetivos da disciplina dentro do curso e nem quais as interligações que existiam com outras disciplinas; 4) falta de conhecimento do projeto pedagógico do curso por parte de professores e estudantes; 5) necessidade de mais atividades práticas que permitissem aos estudantes buscar o conhecimento e que seu professor fosse apenas um facilitador; 6) excesso de atividades teóricas sem que houvesse um retorno para aquilo que era executado e que algumas vezes nem era corrigido e devolvido; 7) planos de aula ultrapassados e sem considerar as necessidades das empresas atuantes no mercado.

A partir dessas constatações, pôde-se então definir qual o caminho e quais as etapas a seguir. Primeiramente, verificou-se nos fundamentos da metodologia quais são os resultados esperados e os

desdobramentos necessários, os quais são descritos por Boing (2018 apud Franca, 2022) conforme tabela 1.

TABELA 1 - Fragmentação do Nível 1 do Syllabus

PRIMEIRO NÍVEL	SEGUNDO NÍVEL
1. Conhecimento científico e raciocínio lógico	1.1 Conhecimento fundamental de matemática e de ciências 1.2 Conhecimento fundamental de engenharia 1.3 Conhecimento avançado de métodos e ferramentas de engenharia
2. Habilidades pessoais e profissionais	2.1 Resolução de problemas e raciocínio analítico 2.2 Experimentação, investigação e descoberta do conhecimento 2.3 Pensamento sistêmico 2.4 Atitudes, pensamento e aprendizado 2.5 Ética, igualdade e outras responsabilidades
3. Habilidades interpessoais: comunicação e trabalho em equipe	3.1 Trabalho em equipe 3.2 Comunicação 3.3 Fluência em línguas estrangeiras
4. Conceber, projetar, implementar e operar sistemas em um contexto empresarial, social e ambiental	4.1 Contexto social e ambiental em esfera global 4.2 Contexto empresarial e organizacional 4.3 Concepção e gestão de sistemas 4.4. Projetar 4.5. Implementar 4.6. Operar 4.7. Liderar empreendimentos de engenharia 4.8 Empreendedorismo

Fonte: Boing (2018).

Já as etapas do CDIO relacionadas ao “como ensinar” (nívelamento *standard*) devem ser acompanhadas e considerados os níveis de avaliação, conforme Quadro 1 apresentado por Boing (2018).

Quadro 1 - Nivelamento Standard com o programa de ensino

Nível	Evidência
5	A evidência relacionada ao Standard é regularmente revisada e utilizada para realizar melhorias
4	Há evidência da implementação e do impacto do Standard entre os componentes e constituintes do programa
3	A implementação do plano para atender o Standard está em andamento
2	Há um planejamento para atender o Standard.
1	Há consciência da necessidade de adotar o Standard e um processo está em vigor para atendê-lo
0	Não há planejamento documentado ou atividade relacionada ao Standard.

Fonte: Boing (2018).

A partir das diretrizes definidas pelo CDIO e pelo conhecimento da situação em que se encontrava a instituição analisada e, após transcrição e diversas leituras flutuantes das transcrições, pôde-se(foi possível) finalmente definir, sob o ponto de vista dos gestores entrevistados, quais os principais fatores críticos de sucesso (FCS) para a implementação da metodologia CDIO em instituições de ensino. O quadro 2, a seguir, mostra quais são esses fatores:

Quadro 2: Fatores Críticos de Sucesso na Implantação do CDIO

Instituição (estrutura)	Apoio incondicional da Alta Administração
	Definição do curso piloto
	Consciência das dificuldades enfrentadas
	Criação de indicadores
Corpo docente	Treinamento para todos os professores para nivelamento quanto à metodologia e ao conhecimento do curso e das tecnologias
	Convencimento dos benefícios advindos do programa
	Plano de ação para os resistentes
	Plano de ação para enfrentar as resistências
	Revisão de todos os planos de aula
Discente	Trabalhar a mudança cultural do quadro discente
	Acompanhamento de todas as atividades
	Suporte para as dificuldades

Fonte: elaboração dos autores (2024).

## *Considerações Finais*

Este trabalho teve como principal objetivo a determinação dos principais fatores de sucesso (FCS) para a implementação da metodologia CDIO em uma instituição de ensino tecnológico superior, por meio da análise das etapas efetivadas e sob a percepção de dois de seus gestores responsáveis por sua implantação.

Entende-se que o objetivo foi atingido, podendo-se deduzir deste trabalho que o atual cenário para as instituições de ensino de qualquer natureza é de bastante fragilidade, exigindo mudanças em suas estratégias de ensino-aprendizagem, de forma a contribuir com a mitigação de outros problemas enfrentados por essas instituições como: evasão e efetividade na formação de profissionais que atendam as novas demandas do mercado profissional.

Os temas “ensino-aprendizagem” e “metodologias ativas” são questões que necessitam de muitos estudos ainda, considerando-se sua importância e a miríade de definições e caminhos a trilhar para a obtenção de resultados.

Entende-se que este trabalho está muito longe de esgotar as necessárias discussões a respeito do tema e, portanto, sugerimos como pesquisas futuras a análise da implementação desta metodologia em outros tipos de instituições.

## *Referências*

- ANDRADE, M.M. **Como preparar trabalhos para cursos de pós-graduação: noções práticas**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2002
- BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: Penso, 2018.
- BANKEL, J. et al. Benchmarking engineering curricula with the CDIO syllabus. **International journal of engineering education**, v. 21, n. 1, p. 121-133, 2005.
- BERBEL, N.A.N. As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes. **Seminários: Ciências sociais e humanas**, v. 32, n. 1, p. 25-40, 2011.
- BOING, A.C. Proposta para adoção da metodologia CDIO no curso de engenharia química da EEL. 2018. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena - Sp, 2018
- BRAIT, L.F.R; MACEDO, K.M.F; DA SILVA, F.B.; SILVA, M.R.; DE SOUZA, A.L.R.S. A relação professor/aluno no processo de ensino e aprendizagem. **Itinerarius reflectionis**, [S. l.], p. 1-15, 1 jan. 2010.

CDIO. **The CDIO Standards 3.0**. WorldWide CDIO Initiative. Disponível em: <http://cdio.org/content/cdio-standards-30>. Acesso em: Outubro, 2023.

COLENCI, Jr A.; COLENCI, A. T. Novas exigências de atuação acadêmica de cenário globalizado: A busca por uma adequada metodologia de ensino-aprendizagem. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília. **Anais do XXXII COBENGE**. 2004

CUNHA, E. R.; MOROSINI, M. C. Evasão na educação superior: uma temática em discussão. **Revista Cocar**. Belém, vol. 7, n.14, p. 82-89, ago./dez., 2013.

CUNHA, M.B.S et al. Metodologias ativas: em busca de uma caracterização e definição. **Educação em Revista**, v. 40, p. e39442, 2024.

CRAWLEY, E. et al. Rethinking engineering education. **The CDIO approach**, v. 302, n. 2, p. 60-62, 2007.

ELMÔR FILHO, G.; SAUER, L.Z.; ALMEIDA, N.N.; VILLASBOAS, V. **Uma nova sala de aula é possível: aprendizagem ativa na educação em engenharia**. Rio de Janeiro: Ltc, 2019.

EDSTRÖM, K.; KOLMOS, A. PBL and CDIO: complementary models for engineering education development. **European Journal of Engineering Education**, v.39, n.5, p. 539-555, 2014.

FAVRETTO, J.; MORETTO, C. F. Os cursos superiores de tecnologia no contexto de expansão da educação superior no Brasil: a retomada da ênfase na educação profissional. **Educação & Sociedade**, v. 34, p. 407-424, 2013.

FRANCA, A.S.. **Metodologias ativas na aprendizagem de engenharia: um estudo sobre a abordagem CDIO**. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed . São Paulo: Atlas, 1999.

KLEIN, N. A.; AHLERT, E. M. Aprendizagem baseada em problemas como metodologia ativa na educação profissional. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 11, n. 4, 2019.

MORAES, G. H.; DE ALBUQUERQUE, A. E. M. As Estatísticas da Educação Profissional e Tecnológica- Silêncios Entre os Números da Formação de Trabalhadores. **Textos para discussão**, n. 45, p. 54-54, 2019.

MOURA, R.; RICETTO, M.; LUCHE, D.; TOZI, L. AND SILVA, M. (2022). New Professional Competencies and Skills Learning towards Industry 4.0. In **Proceedings of the 14th International Conference on Computer Supported Education** - Volume 2: CSEDU, ISBN 978-989-758-562-3, pp. 622-630. ISSN 2184-5026. DOI: <http://dx.doi.org/10.5220/0011047300003182>

MÜLLER, R. R. P.; VERMAAS, L. L. G. **Projeto Institucional de Modernização (PIM) da Engenharia Eletrônica da UNIFEI**. Planejamento e Primeiros Resultados dos Projetos Institucionais de Modernização da Graduação em Engenharia (2019-2020), p. 21.

NADER, J. S. R. Implementacion de Metodologia CDIO En Las Asignaturas de Ingenieria Del Software De La Universidad Libre Seccional Barranquilla. **Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería**, 2014.

NIYAMA, Lúcia Erika et al. Educação na engenharia e na tecnologia da produção, frente aos desafios da era digital: tendência de um novo perfil profissional. **XII CICTED**, 2023.

OLIVEIRA, T. V.; SOUZA, V. J. Análise do ensino-aprendizagem em cursos de tecnologia utilizando projetos integradores. *Revista Fatecnológica da Fatec-Jahu*, v. 15, n. 1, p. 109-121, 2021.

D'ARISBO, A.; PAGLIARINI, S. O Mercado de Trabalho e o Curso Superior de Tecnologia: uma revisão sistemática. XLVIII Encontro da ANPAD – EnANPAD, 2024.

PALMEIRA, R. L.; DA SILVA, A. A. R.; RIBEIRO, W. L. As metodologias ativas de ensino e aprendizagem em tempos de pandemia: a utilização dos recursos tecnológicos na Educação Superior. *Holos*, v. 5, p. 1-13, 2020.

SILBERMAN, Melvin L. 101 strategies to teach any subject. Boston: Allyn Bacon, 1996.

SILVA, A. L.; ZANETTI, M. S. Implementação do método de ensino CPIO no curso de engenharia aeroespacial da UFSM. In: CONGRESSO AEROESPACIAL BRASILEIRO, 1., 2018, Foz do Iguaçu - Pr. **Proceedings** [...] . Foz do Iguaçu - Pr: Unila, 2017. p. 58-58.

SOARES, C.. Metodologias ativas: uma nova experiência de aprendizagem. 1. ed. São Paulo: Editora Cortez, 2021.

TAKAHASHI, A. R. W.; AMORIM, W. A. C. Reformulação e expansão dos cursos superiores de tecnologia no Brasil: as dificuldades da retomada da educação profissional. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v. 16, p. 207-228, 2008.