

**MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE**  
(ORGANIZADORA)

# **ENGENHARIAS E SOLUÇÕES**

**CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA  
O DESENVOLVIMENTO HUMANO**

**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE**  
(ORGANIZADORA)

# **ENGENHARIAS** **E SOLUÇÕES**

**CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA  
O DESENVOLVIMENTO HUMANO**

**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Luiza Alves Batista  
Nataly Evilin Gayde  
Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2025 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2025 O autor

Copyright da edição © 2025 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora



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

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

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

Profª Drª Cristina Aledi Felseburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

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

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

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

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

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

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

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

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

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

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

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

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

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

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

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

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

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

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

**Engenharias e soluções:  
ciência e tecnologia para o desenvolvimento humano**

**Organizadora:** Mariana Natale Fiorelli Fabiche

**Revisão:** Os autores

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo

**Correção:** Jeniffer dos Santos

**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57    Engenharia e soluções: ciência e tecnologia para o desenvolvimento humano / Organizadora Mariana Natale Fiorelli Fabiche. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-3230-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.302252103>

1. Engenharia. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizadora). II. Título.

CDD 620

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

## DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação da obra publicada, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. A editora pode disponibilizar a obra em seu site ou aplicativo, e o autor também pode fazê-lo por seus próprios meios. Este direito se aplica apenas nos casos em que a obra não estiver sendo comercializada por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras. Quando a obra for comercializada, o repasse dos direitos autorais ao autor será de 30% do valor da capa de cada exemplar vendido; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como quaisquer outros dados dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Olá amigo leitor, é com grande entusiasmo e dedicação que apresento a coleção: “Engenharias e soluções: Ciência e tecnologia para o desenvolvimento humano”. Uma coleção constituída de dezessete capítulos de trabalhos científicos que aborda temas atuais e relevantes nas diversas áreas da Engenharia.

A coleção reúne diversos assuntos, sendo: caracterização de novos materiais com e sem a utilização de resíduos; estudo urbanísticos de cidades; planejamento de estoques; manifestações patológicas em pisos industriais; sistemas de medições multivariável de sinais senoidal de corrente elétrica; dentre diversos outros assuntos pertinentes a engenharia.






Composta por capítulos categorizados e interdisciplinares, a obra apresenta estudos realizados em diversas instituições de ensino e pesquisa no Brasil e no exterior, abordando temas discutidos nas áreas correlatas a engenharia. Nesta perspectiva, a Atena Editora vem buscando e trabalhando de forma a estimular e incentivar pesquisadores do Brasil e do exterior, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Aos autores, agradeço novamente a confiança e espírito de parceria.

Aos leitores desejo uma excelente leitura e aprendizado.

Mariana Natale Fiorelli Fabiche.



<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE METALOGRÁFICA DE JUNTAS SOLDADAS COM ELETRODOS E6013 E E7018 EM AÇO DE BAIXO CARBONO	
Rafael Leal Tarloto	
Bruno Oliveira	
Kamira Miksza Fragoso	
Gustavo José Correa Gonçalves	
Fernando Sabino Fonteque Ribeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521031">https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521031</a>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO	
José Robero Hortêncio Romero	
Carla Raquel Felippini Dreossi	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521032">https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521032</a>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>27</b>
PLANEJAMENTO DE ESTOQUES E DA ARMAZENAGEM USANDO O LABLOG	
Mariana Lopes Silva	
Marcos Ricardo Rosa Georges	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521033">https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521033</a>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>52</b>
USO DA <i>CÚRCUMA</i> LONGA EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS FOTOPROTETORAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA	
Isabela Oliveira do Nascimento	
Alex Silvino Barata Lopes	
Débora Borges Nobre	
Itamara Farias Leite	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521034">https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521034</a>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>72</b>
ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM VEREDAS POR SENSORES ORBITAIS	
Josiane Maria da Silva	
Ingrid Horák Terra	
Lucas Santos Santana	
Lucas G. M. dos Santos	
Fabricio da Silva Terra	
André Medeiros de Andrade	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521035">https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521035</a>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>86</b>
COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO DE ARGAMASSAS COLANTES	

**INCORPORADAS COM RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

Marilucia dos Santos Silva  
 Niander Aguiar Cerqueira  
 Jonas Alexandre  
 Mayara Silva de Almeida  
 Euzébio Bernabé Zanelato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521036>

**CAPÍTULO 7 ..... 102****ESTUDO DA SENSIBILIDADE DE UM SISTEMA OTIMIZADO DE MULTI-GERAÇÃO SIMPLES DE ENERGIA RENOVÁVEL COM PYTHON**

Igor Francisco Tavares Soares  
 Danielle Bandeira de Mello Delgado  
 João Pedro Lima Dantas  
 Josué Alves Araújo Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521037>

**CAPÍTULO 8 ..... 109****SISTEMA DE MEDIÇÃO MULTIVARIÁVEL PARA MONITORAMENTO DE SINAIS SENOIDAIS DE CORRENTE E TENSÃO ELÉTRICA**

Ariel Souza Medeiros  
 Evandro Ailson de Freitas Nunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521038>


**CAPÍTULO 9 ..... 117****LOS SILOXANOS EN EL BIOGÁS. ORIGEN, EFECTOS Y TRATAMIENTOS. TECNOLOGÍAS EN EL MERCADO**

Joaquín Reina Hernández.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3022521039>

**CAPÍTULO 10..... 124****AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MISTURAS PARA TIJOLOS ECOLÓGICOS PRODUZIDAS COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**


Emanuele Cristina Pereira Miranda  
 Guilherme Alves Chagas  
 Juliane Santos Souza  
 Regina Maria Cunha Leite

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210310>

**CAPÍTULO 11 ..... 155****ANÁLISE DE ACIDENTES DA LINHA FÉRREA DA MALHA DA FERROESTE ENTRE LARANJEIRAS DO SUL E GUARANIAÇU - PR**

Elmagno Catarino Santos Silva  
 Felipe Eduardo Favreto  
 Maurício do Espírito Santo Andrade  
 Gladis Cristina Furlan

Zélia da Paz Pereira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210311>

**CAPÍTULO 12..... 173**

REQUALIFICAÇÃO URBANÍSTICA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PRESIDENTE GETÚLIO/SC

Martins, B. G.

Santos, R.P.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210312>


**CAPÍTULO 13..... 195**

VINCULACIÓN ENTRE EDUCACIÓN SUPERIOR Y EDUCACIÓN MEDIA: CASO CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ITAPÚA Y BACHILLERATO TÉCNICO EN INFORMÁTICA DE ENCARNACIÓN Y CAMBYRETÁ

María Nieves Florentín Núñez

Lisa Graciela Ojeda Aquino

Verónica Solano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210313>

**CAPÍTULO 14..... 208**


EFFECTO DE UN ANÁLISIS DE CLIENTES Y ACCIONES INTERFUNCIONALES DE LA EMPRESA SOBRE LAS ACCIONES ESTRATÉGICAS A CLIENTES EN LA ORIENTACIÓN AL MERCADO EN HOTELES PYMES

Hernández-León Rafael

Cadena-Badilla Jesús Martín

Vásquez-Quiroga Joaquín

León-Moreno Francisco Javier

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210314>


**CAPÍTULO 15..... 216**

EFFECT OF ULTRAVIOLET LIGHT AND ULTRASONIC IRRADIATION ON DEGRADATION OF RHODAMINE B DYE

Richard Steve Ruiz Martínez

Carlos Alvarado Camacho

Carlos Omar Castillo Araiza


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210315>

**CAPÍTULO 16..... 227**

REQUALIFICAÇÃO URBANÍSTICA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PRESIDENTE GETÚLIO/SC

Martins, B. G.

Santos, R.P.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210316>


**CAPÍTULO 17..... 249**

AN API MANAGEMENT SOFTWARE QUALITY METAMODEL BASED ON

SQUARE AND GQM

Eder dos Santos

Sandra Casas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.30225210317>

**SOBRE A ORGANIZADORA .....267**

**ÍNDICE REMISSIVO .....268**

## ANÁLISE METALOGRÁFICA DE JUNTAS SOLDADAS COM ELETRODOS E6013 E E7018 EM AÇO DE BAIXO CARBONO

*Data de submissão: 06/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Rafael Leal Tarloto**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Bruno Oliveira**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Kamira Miksza Fragoso**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Gustavo José Correa Gonçalves**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### **Fernando Sabino Fonteque Ribeiro**

Departamento de Engenharia Mecânica  
– Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

**RESUMO:** A evolução das tecnologias de soldagem e a escolha criteriosa dos consumíveis desempenham papéis fundamentais na obtenção de qualidade e eficiência nos processos industriais. Este estudo realizou uma análise comparativa de

aspectos macro e micrográficos de juntas topo em “V” soldadas com três passes, utilizando o processo de soldagem com eletrodo revestido. Foram empregados os eletrodos E6013 e E7018, ambos com diâmetro de 2,5 mm, utilizando parâmetros elétricos pré-definidos, em corpos de prova de aço A36 com espessura de 6,35 mm. As análises revelaram diferenças no tamanho dos grãos e na formação da microestrutura das regiões analisadas. Em ambos os corpos de prova, foi identificada a presença de falta de penetração no passe raiz, bem como desalinhamento nas peças soldadas, em especial na junta soldada com eletrodo E7018. Em ambas as juntas soldadas foi possível observar a presença das zonas termicamente afetadas, com maior nitidez na junta soldada com o eletrodo E6013. Os resultados ressaltam a importância do controle rigoroso dos parâmetros de soldagem e da preparação metódica das peças, demonstrando que erros no preparo das peças a serem soldadas podem comprometer a aplicação segura do componente soldado. O estudo reforça a necessidade do aprimoramento contínuo dos profissionais de soldagem, visando atender às demandas tecnológicas e garantir a qualidade dos componentes soldados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Zona Termicamente Afetada; Eletrodos E6013 e E7018; Metalografia.

## METALLOGRAPHIC ANALYSIS OF WELDED JOINTS USING E6013 AND E7018 ELECTRODES IN LOW CARBON STEEL

**ABSTRACT:** The evolution of welding technologies and the careful selection of consumables play crucial roles in achieving quality and efficiency in industrial processes. This study presents a comparative analysis of the macro and microstructural aspects of “V” butt joints welded with three passes, using the shielded metal arc welding process. The electrodes E6013 and E7018, both with a 2.5 mm diameter, were used, and predefined electrical parameters were applied to A36 steel test specimens with a thickness of 6.35 mm. The analyses revealed differences in grain size and microstructure formation in the analyzed regions. Both specimens showed the presence of lack of penetration in the root pass, as well as misalignment in the welded pieces, especially in the joint welded with the E7018 electrode. Thermally affected zones were observed in both welded joints, with greater clarity in the joint welded with the E6013 electrode. The results highlight the importance of strict control of welding parameters and meticulous preparation of the workpieces, demonstrating that errors in the preparation of the pieces to be welded can compromise the safe application of the welded component. The study emphasizes the need for continuous improvement of welding professionals to meet technological demands and ensure the quality of welded components.

**KEYWORDS:** Thermally Affected Zone; E6013 and E7018 Electrodes; Metallograph

## 1 | INTRODUÇÃO

A soldagem com eletrodos teve início no princípio do século XX, com a utilização de arames nus para cercas, ligadas a rede elétrica. Observou-se que arames oxidados, ou cobertos com cal, proporcionavam melhor estabilidade de arco, tendo-se adotado o eletrodo ácido ainda no começo da primeira década (Wainer et al., 2004)

O eletrodo revestido consiste em um arame metálico (alma), que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para o preenchimento da junta, recoberta por um revestimento. Esse revestimento é uma mistura de diferentes materiais fusíveis, que tem por função iniciar e estabilizar o arco elétrico, proteger a poça de fusão e o metal de solda da atmosfera, ajustar a composição química do cordão e eliminar as impurezas do metal de solda pela formação de escória, garantindo as propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada. O processo é de baixo custo, versátil e de fácil aprendizagem, entretanto apresenta baixa produtividade pela necessidade de constante troca de consumível.

De acordo com Wainer et al. (2004), a corrente de soldagem é o parâmetro determinante na taxa de deposição para dadas condições fixas de soldagem, existe uma relação direta e proporcional entre as duas variáveis, sendo que está uma consideração de extrema importância no que diz respeito à produtividade.

O único material consumível desse processo de soldagem é o eletrodo revestido. Conforme aponta Marques (2005), o eletrodo é constituído por uma vareta metálica, a

alma, com diâmetro entre 1,5 e 8 mm e comprimento entre 23 e 45 cm, recoberta por uma camada de fluxo, o revestimento. Os consumíveis aplicados no Brasil devem ser certificados por Organismo Certificador de Produtos (O.C.P.), conforme N-1859 (Cunha, 2016). Esse órgão no Brasil é a Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem (F.B.T.S.), segundo as normas de qualificação AWS (Silva et al., 2019). Este sistema, normalizado pela *American Welding Society*, é na atualidade, o mais difundido mundialmente, sendo este também utilizado no nosso país. A classificação consiste no prefixo E, designando eletrodo revestido, seguida por um conjunto de dígitos indicativos.

Já os revestimentos consistem em misturas de compostos minerais ou orgânicos, aos quais são adicionados outros elementos, como aglomerantes com finalidades específicas como (Kobayashi, 1987):

- Estabilização do arco;
- Formação de gases protetores da poça;
- Formação de escória e atuação como agentes fluxantes (desoxidantes);
- Adição de componentes e ligas metálicas ao depósito;
- Melhorar as propriedades do revestimento.

Dentre as combinações de designações mais comuns para eletrodos revestidos, Wainer et al. (2004) sintetiza as principais características de aplicação na Tabela 1:

Classificação	Posições (1)	Corrente	Propriedades Mecânicas (2)			Revestimentos/Características
			LR (3)	LE (4)	$\lambda$ (5)	
E-6010	P, V, S, H	CC+	430	340	22	Altamente celulósico, com silicato de sódio. Alta penetração. Aspecto superficial pobre. Uso geral em tanques, tubulações, navios, etc.
E-6011	P, V, S, H	CC+, CA	430	340	22	Altamente celulósico, com silicato de potássio. Características semelhantes ao E-6010, com penetração inferior.
E-6012	P, V, S, H	CC-, CA	460	380	17	Rútílico com silicato de sódio. Média penetração, densa escória, bom aspecto superficial. Uso geral.
E-6013	P, V, S, H	CC+, CC-, CA	460	380	17	Rútílico com silicato de potássio. Semelhante ao E-6012, com penetração tendendo a ser inferior. Em pequenos diâmetros é especificamente recomendado para chapas finas.
E-6020	HF	CC-, CA	430	340	22	À base de óxido de ferro, com compostos de manganês e silício. Penetração média/alta. Aspecto superficial razoável. Uso em vasos de pressão, bases de máquinas e estruturas.

E-6022	P	CC-, CC+, CA	460	NE	NE	Semelhante ao E-6020, indicado para soldas monopasse, com aspecto superficial inferior.
E-6027	P, HF	CC-, CA	430	340	22	Semelhante ao E-6020, com adição de pó de ferro, média penetração, bom aspecto superficial, qualidade radiográfica levemente inferior. Uso em secções espessas.
E-7014	P, V, S, H	CC-, CC+, CA	500	420	17	Semelhante ao E-6012 e E-6013, com adição de pó de ferro.
E-7015	P, V, S, H	CC+	500	420	22	Básico com silicato de sódio. Moderada penetração, aspecto razoável para pobre, dependendo da qualidade do metal base. Requer maior habilidade. Uso onde propriedades mecânicas e qualidade do depósito são essenciais.
E-7016	P, V, S, H	CC+, CA	500	420	22	Semelhante ao E-7015, com silicato de potássio e pó de ferro
E-7018	P, V, S, H	CC+, CA	500	420	22	Semelhante do E-7016, com alta adição de pó de ferro.
E-7024	P, HF	CC-, CC+, CA	500	420	17	Semelhante ao E-6012 e E-6013, com grande adição de pó de ferro. Alta taxa de deposição; uso geralmente em soldas de filete.
E-7027	P, HF	CC-, CA	500	420	22	Semelhante ao E-6027. Uso onde propriedades mecânicas superiores são necessárias.
E-7028	P, HF	CC+, CA	500	420	22	Semelhante ao E-7018, com maior adição de pó de ferro.
E-7048	P, V, S, H, VD	CC+, CA	500	420	22	Semelhante ao E-7018. Uso especificamente para soldagem na posição vertical descendente.

**Tabela 1** – Descrição dos consumíveis para aço carbono segundo AWS.

Fonte: Wainer et al. (2004)

Notas:

- (1) P= Plana, V= Vertical, S= Sobrecabeça, H= Horizontal, HF= Horizontal (filetes), VD= Vertical descendente.
- (2) NE= Não especificado;
- (3) Limite de resistência, MPa;
- (4) Limite de elasticidade, MPa;
- (5) Alongamento %.

O campo de aplicação dos eletrodos revestidos é na atualidade o mais vasto entre todos os processos de soldagem pela sua simplicidade, facilidade de acesso e baixo custo, a variedade de procedimentos aplicáveis é também ampla, indo desde os mais simples serviços de ponteamto até o mais rígido controle na fabricação de vasos de pressão. Os corretos manuseio e manutenção dos consumíveis podem ser fundamentais para a sanidade da junta. Destaca-se, que apesar de correta aplicação do procedimento de



soldagem qualificado ser um fator primordial para uma boa qualidade da junta, grande parte das descontinuidades observadas é devido à manutenção inadequada dos consumíveis (Machado, 1996).

O eletrodo E6013 é amplamente utilizado devido à sua versatilidade e facilidade de manuseio, contém um grande percentual de dióxido de titânio (rutilo -TiO<sub>2</sub>) em seu revestimento, são projetados para ter um arco de baixa penetração, permitindo que os metais de pequena espessura sejam soldados sem furar a peça. Já o eletrodo E7018, é a versão mais moderna do eletrodo de baixo hidrogênio. A adição de quantidades consideráveis de pó de ferro ao revestimento resulta num arco mais suave e com menos respingos, esse moderno balanço de ingredientes do revestimento resulta numa grande melhoria na estabilidade do arco, na direção do arco e na facilidade de manuseio em todas as posições (Marques, 2005).

Ainda segundo Wainer et al. (2004), a maioria dos processos de soldagem utiliza o calor como principal fonte de energia, sendo necessário supri-lo à poça de fusão em quantidade e intensidade suficientes, de modo a garantir a execução de uma junta soldada de boa qualidade. O calor é, portanto, elemento essencial à execução de uniões soldadas, mas pode, por outro lado, representar fonte potencial de problemas devido à sua influência direta nas transformações metalúrgicas e nos fenômenos mecânicos que ocorrem na zona de solda.

A zona termicamente afetada (Z.T.A.), é a região compreendida entre a zona fundida e o metal base não afetado termicamente. Ela representa a região da solda que não se fundiu durante a soldagem, porém devido as altas temperaturas sofre modificações em suas propriedades mecânicas e metalúrgicas. Essas modificações resultam em diferenças no valor da dureza, tamanho do grão e resistência mecânica, presentes nesta região.

O artigo complementa o estudo “Macrografia de juntas soldadas com eletrodos E6013 e E7018 em aços de baixo carbono”, apresentado no Congresso de Iniciação Científica do Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos, que analisa experimentalmente a influência dos eletrodos E6013 e E7018 na formação da Zona Termicamente Afetada (ZTA) em aços A36. A inspeção macroscópica das seções transversais dos corpos de prova, associada ao uso de microscopia, permite identificar tanto a morfologia dos passes de solda quanto eventuais defeitos que podem comprometer a resistência mecânica da junta. Isto posto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as juntas soldadas de aço A36 por meio da macrografia e micrografia. O procedimento de soldagem por eletrodo revestido foi aplicado com eletrodos E6013 e E7018.

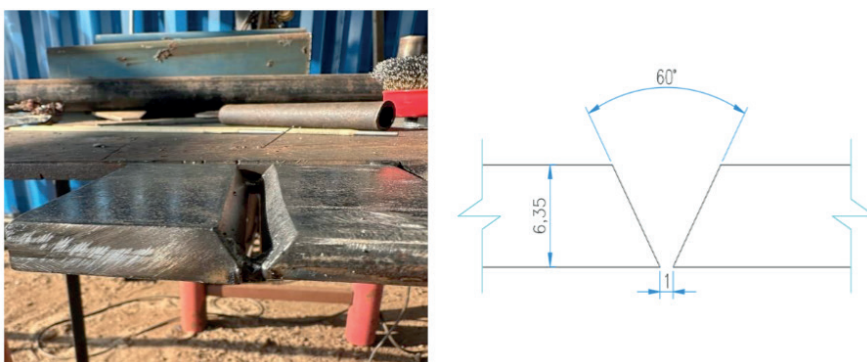
## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foi realizada uma comparação da zona termicamente afetada (ZTA), utilizando eletrodos E6013 e E7018, ambos do mesmo fabricante. Para a soldagem,

foram utilizados corpos de prova em aço carbono A 36, de aplicação comum na indústria. O estudo busca analisar as diferenças no comportamento da ZTA com o uso desses dois eletrodos, considerando sua influência nas propriedades mecânicas e microestruturais das juntas soldadas.

Os eletrodos revestidos E6013 e E7018 desempenham um papel crucial na indústria. A utilização desses dois tipos de eletrodo permite atender às diferentes demandas de soldagem, garantindo durabilidade, resistência e confiabilidade nas operações industriais.

A primeira etapa do estudo foi a preparação dos corpos de prova. Para tal, foi utilizado uma esmerilhadeira de 4 polegadas para cortar as peças e preparar a junta de topo com chanfro em “V” de 60°, com afastamento de 1mm. Inicialmente, as amostras foram fixadas com esquadros magnéticos para que fosse realizado o ponteamto em suas extremidades. Os corpos de prova possuíam 150 mm de comprimento, 100 mm de largura e 6,35 mm de espessura, conforme a Figura 1:

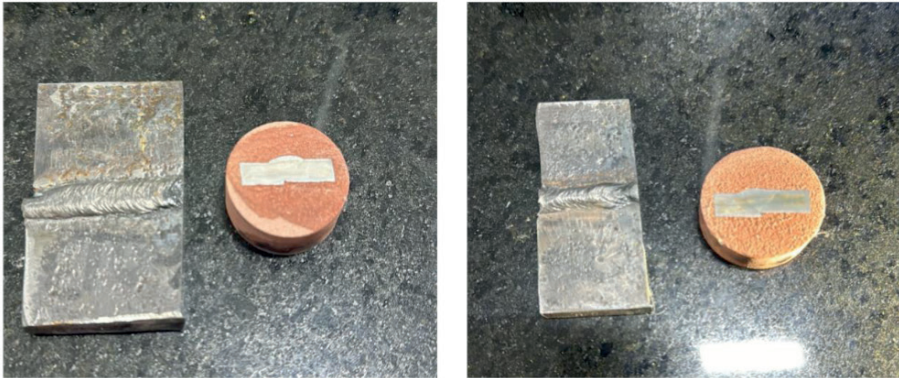


**Figura 1:** Exemplo de junta de corpo de prova

Fonte: Autor

Em seguida foi aplicado um passe de raiz em cada corpo de prova, utilizando uma corrente média de 100 ampères, utilizando a técnica de soldagem - puxando, seguido por um passe intermediário e um passe de acabamento.

Após corte em uma cortadora metalográfica, os corpos de provas foram embutidos, utilizando baquelite em pó na embutidora, como apresentado na Figura 2. Em sequência foram lixados até a obtenção da qualidade desejada. Esse processo de lixamento contou com sete lixas d'água, na sequência #180, #220, #320, #400, #600, #800 até a lixa #1200. Em sequência, o polimento foi realizado em politriz rotativa, utilizando um pano de polimento metalográfico e alumina em suspensão (1  $\mu$ m).



**Figura 2:** Corpos de provas embutidos

Fonte: Autores

Dessa maneira, foi possível avançar para a próxima etapa do processo, o ataque químico, o qual foi realizado individualmente em cada amostra, utilizando-se solução de Nital a 4%, por meio de imersão por 10 segundos. Esse procedimento permitiu a corrosão seletiva das diferentes fases metálicas, possibilitando uma visualização da zona termicamente afetada (ZTA).

Ressalta-se que para melhor evidência das regiões estudadas fez-se necessário a utilização da lupa com ampliações de 10x, da marca OPTON, e do microscópio modelo IM100I da marca Fortel com capacidade de ampliação de até 500x presente no Laboratório de Metalografia do Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos. A utilização desses equipamentos desempenha um papel fundamental na análise metalográfica, tornando-se uma ferramenta essencial para engenheiros e técnico mecânicos. Este dispositivo, conhecido por sua capacidade de ampliação, oferece vantagens significativas na inspeção detalhada das regiões soldadas, podendo identificar e avaliar com precisão diferentes tipos de defeitos de soldagem, como trincas, descontinuidades, porosidade, entre outros.

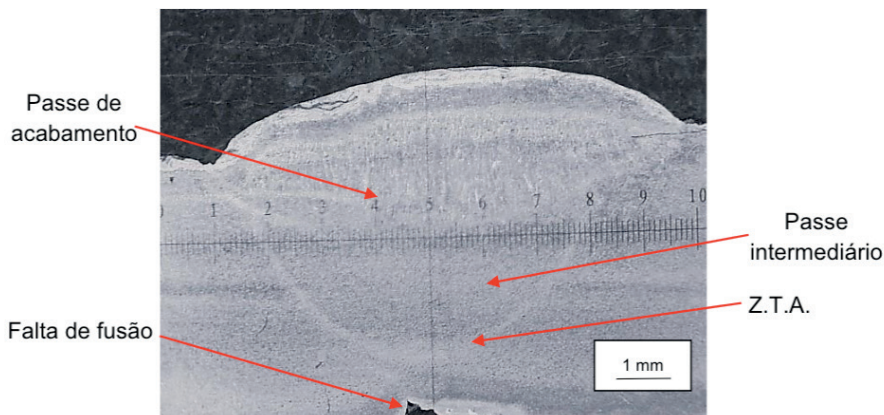
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise detalhada das regiões soldadas é essencial para avaliar a qualidade e integridade das juntas, especialmente em processos que utilizam eletrodos revestidos como o E6013 e o E7018. Na soldagem realizada com o eletrodo E6013, apresentada na Figura 3, foi possível identificar claramente o contorno do passe intermediário e do passe de acabamento, gerando um cordão de aproximadamente 9 mm de largura. A junta soldada apresentou um leve desnivelamento vertical, indicando uma falha operacional, podendo ter sido causado por um alinhamento incorreto durante o posicionamento das amostras para soldagem. Ademais, é possível observar a presença de uma região inferior

com falta de fusão. Na região analisada, o passe de raiz apresentou falta de fusão, como indicado na Figura 3. Apesar da soldagem em topo com junta em V ter sido aplicada, defeitos operacionais podem ter sido decisivos para a falta de fusão no passe raiz. O passe de acabamento resultou em uma área convexa na superfície. De acordo com a Federação Brasileira de Tecnologia de Soldagem (FBTS), a medição da altura deve ser realizada junto a padrões pré-estabelecidos. Apesar desta constatação, não foram realizadas avaliações quantitativas da geometria do cordão em vistas a gerar maior foco na metalurgia da soldagem e nos possíveis defeitos operacionais observados.

Em relação à zona termicamente afetada (ZTA), observou-se uma estreita faixa correspondente a essa região, indicando que o gradiente de temperatura não foi suficientemente elevado para causar alterações microestruturais significativas no material base. Isso sugere que os parâmetros de soldagem, como corrente e velocidade de avanço, foram adequadamente controlados, minimizando os efeitos térmicos na peça.

Contudo, a principal preocupação em termos de integridade estrutural reside na falta de fusão localizada na região inferior, a qual pode comprometer a resistência da junta soldada a longo prazo, especialmente em condições de carregamento cíclico ou fadiga. Esses resultados ressaltam a importância de se realizar uma avaliação rigorosa da qualidade da soldagem, principalmente no que se refere ao alinhamento das peças e à detecção precoce de defeitos como trincas, que podem comprometer a durabilidade da estrutura.



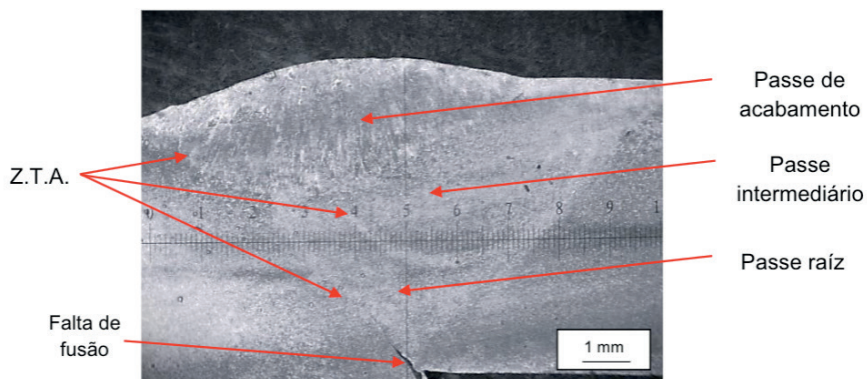
**Figura 3:** Macrografia soldagem E6013

Fonte: Autor

No corpo de prova soldado com o eletrodo E7018, conforme ilustrado na Figura 4, foram observados desnivelamentos verticais no cordão de solda e no alinhamento da junta soldada. Tais defeitos podem estar associadas à baixa corrente de soldagem, a técnica de deposição (puxando) além de falhas operacionais durante o ponteamento e execução da soldagem. A análise macrográfica revelou a zona termicamente afetada (ZTA) do passe

raiz, passe intermediário e do passe de acabamento, sendo ainda observado um passe de acabamento com largura média de 1,2 mm.

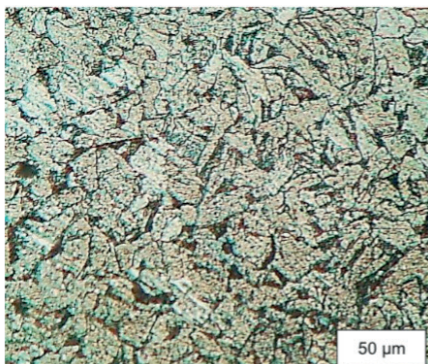
A ausência de defeitos como inclusões, porosidades e mordeduras sugere que os parâmetros de soldagem foram bem determinados, resultado em uma microestrutura adequada para a soldagem com ambos os eletrodos. No entanto, a presença de falta de fusão exacerbada pela falta de técnica na preparação da junta aponta para uma potencial fragilidade mecânica que pode comprometer a integridade estrutural do componente sob condições de serviço. Isso destaca a necessidade de uma preparação meticulosa e um alinhamento preciso das peças para minimizar o risco de falhas prematuras. Os resultados obtidos reforçam a importância de um controle rigoroso dos parâmetros de soldagem e da precisão na montagem das peças, visando garantir a qualidade da junta soldada e assegurar a durabilidade do componente em aplicações reais. A análise dos resultados evidencia a necessidade de ajustes na técnicas de preparação da junta para evitar comprometimentos estruturais e promover a integridade das soldagens.



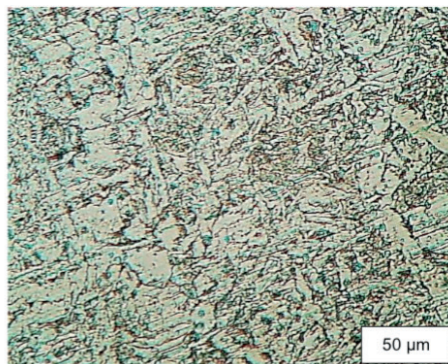
**Figura 4:** Macrografia soldagem E7018

Fonte: Autor

A análise micrográfica apresentada na Figura 5 foi realizada na zona fundida das juntas soldadas, onde se observaram variações significativas no tamanho dos grãos, decorrentes do gradiente térmico imposto durante o processo de soldagem. Essa diferença no tamanho de grão está diretamente relacionada ao tempo de permanência e à temperatura máxima atingida na zona fundida, resultando em uma microestrutura heterogênea. Além disso, foi observada uma maior concentração de impurezas intersticiais na Figura 5A, associada a maior presença de perlita ( $\alpha+Fe_3C$ ) na fase hipoeutetóide.



**Figura 5 (A):** Junta E6013



**Figura 5 (B):** Junta E7018

Fonte: Autor

Na Figura 5B, que apresenta a microestrutura da junta soldada utilizando o eletrodo E7018, observa-se maior presença de ferrita. Esse aumento na fração de ferrita é atribuído à composição do eletrodo, que contém aproximadamente 30% de pó de ferro. A adição de pó de ferro no eletrodo E7018, apesar de reduzir a resistência mecânica ao impacto da junta soldada, melhora as características operacionais do eletrodo, reduzindo salpicos e melhorando a abertura do arco (Farias e Scotti, 1986). Ademais, Farias e Scotti (1986) mostraram experimentalmente a melhor a estabilização do arco elétrico durante o processo de soldagem na presença de eletrodos básicos com maior percentual de pós de ferro, como o E7018, sendo essa característica relacionada com seu baixo potencial de ionização.

## 4 | CONCLUSÃO

A comparação entre os eletrodos E6013 e E7018, aplicados em corpos de prova proporcionou uma análise detalhada das zonas termicamente afetada (ZTA) e das características das juntas soldadas. Os resultados demonstram que ambos os eletrodos apresentam vantagens e desafios específicos em termos de aplicação industrial.

A junta soldada com eletrodo E6013 exibiu de maneira mais clara a ZTA dos passes intermediários e raiz. Em complemento a micrografia da zona fundida desta região evidenciou a maior presença de perlita e grãos maiores. A observação da junta soldada com eletrodo E7018 permitiu a identificação da ZTA, com menor nitidez a junta anterior. A microestrutura desta junta é predominantemente ferrítica. Para ambos os casos, foram observados defeitos de soldagem como desalinhamento e falta de penetração do passe raiz.

Essas observações reforçam a importância da seleção criteriosa de eletrodos e dos parâmetros de soldagem, bem como atenção adequada aos procedimentos de preparo e alinhamento da junta a ser soldada.

Portanto, o estudo destaca a necessidade de aprimoramento contínuo dos profissionais de soldagem, visando a aplicação de técnicas e tecnologias adequadas ao procedimento, a fim de atender às exigências crescentes de qualidade e eficiência na fabricação de competentes mecânicos. A adoção de rigorosos controles operacionais e de inspeção, especialmente no que tange à preparação e à precisão da soldagem, é essencial para assegurar que os processos industriais mantenham a confiabilidade e a segurança exigidas pelos padrões técnicos atuais.

## REFERÊNCIAS

CUNHA, Henrique Miguel. Caracterização de juntas soldadas de Aços Carbono e Aços Inoxidáveis utilizando arame AWS E309L T1-1. 2016.

FARIAS, Jesualdo Pereira; SCOTTI, Américo. Influência da composição do revestimento na estabilidade de eletrodos básicos. **Revista Tecnologia**, v. 7, n. 1, 1986.

KOBAYASHI, Yukio et al. Influência da composição do revestimento de eletrodos básicos sobre as características econômicas e operacionais. 1987.

MACHADO, Ivan Guerra. Soldagem & técnicas conexas: processos. 1996.

MARQUES, Paulo Villani. Soldagem-fundamentos e tecnologia. Editora UFMG, 2005.

RODRIGUES, Clóvis; CERSOSIMO, Arno Giuseppe. Soldagem na Indústria do Petróleo. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2022.

SILVA, Ana Carla S. et al. Aplicação da metodologia para qualificação de procedimentos de soldagem de tubulações industriais conforme parâmetros dos códigos ASME B31. 3 e ASME SECTION IX. Soldagem & Inspeção, v. 24, p. e2423, 2019.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia, livro, Ed. Edgar Blucher Ltda., 4ª reimpressão, p. 1, 2004.

# PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PISOS INDUSTRIAIS DE CONCRETO

*Data de submissão: 07/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **José Robero Hortêncio Romero**

Engenheiro Civil (NeoMix Concreto, São Paulo, Brasil)

### **Carla Raquel Felippini Drossi**

Técnico em Edificações (NeoMix Concreto, São Paulo, Brasil)

**RESUMO:** O presente artigo aborda as principais manifestações patológicas em pisos industriais de concreto, destacando a importância de práticas construtivas adequadas, a utilização de materiais de qualidade, contratação de profissionais qualificados e uso de equipamentos específicos, além da adesão a padrões rigorosos de qualidade em todas as etapas construtivas, bem como a manutenção preventiva para garantir a durabilidade e integridade estrutural. O papel do projeto é ressaltado como fundamental na prevenção de manifestações patológicas, exigindo uma análise minuciosa do local e uma compreensão completa das demandas da atividade. Estratégias de mitigação de fissuras são discutidas, e a coleta e análise extensiva de dados são apresentadas como ferramentas indispensáveis para entender e mitigar manifestações

patológicas, contribuindo para a excelência na construção civil e prolongando a vida útil das estruturas de concreto. O artigo visa também fomentar a conscientização sobre a relevância de práticas preventivas e cuidados específicos na construção e manutenção de pisos industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pisos e pavimentos de concretos, manifestações patológicas, fissuração, procedimento de execução de pisos, pavimentos de concreto.

## 1 | INTRODUÇÃO

A integridade e funcionalidade de pisos industriais são cruciais em ambientes industriais, sendo o concreto amplamente empregado devido às suas propriedades de durabilidade e versatilidade. Contudo, esses pisos estão suscetíveis a manifestações patológicas, particularmente fissuras, que podem comprometer tanto a estética quanto a performance estrutural. A prevenção e mitigação dessas manifestações patológicas são, portanto, essenciais, demandando uma compreensão abrangente de suas causas, consequências e estratégias de intervenção.



Este artigo tem como principal objetivo elucidar as complexidades associadas às manifestações patológicas em pisos industriais de concreto, com foco na fissuração, e destacar a necessidade de práticas construtivas aprimoradas e manutenção preventiva. A relevância desta investigação reside na busca por soluções que assegurem a durabilidade e eficácia desses pisos em condições industriais adversas, contribuindo assim para o avanço das práticas de construção e manutenção no setor industrial.

O concreto, pilar essencial na engenharia civil, desempenha um papel crucial na estruturação e durabilidade dos pisos industriais. Sua composição e propriedades estruturais são determinantes para a capacidade de carga, resistência ao desgaste e preservação da integridade estrutural ao longo do tempo.

Aprofundar-se nesses conceitos é imperativo para a identificação, avaliação e mitigação efetiva das manifestações patológicas que podem comprometer os pisos industriais, constituindo um alicerce para o aprimoramento das estratégias de manutenção e conservação destas estruturas vitais.

## **2 | PISOS E PAVIMENTO DE CONCRETO**

Referente a pisos e pavimentos de concreto, enfatiza-se a importância destes componentes estruturais na distribuição de cargas verticais e melhoria das condições de tráfego, visando segurança, conforto e durabilidade (ABNT, 1982). A construção destas estruturas envolve a complexa sobreposição de diversas camadas com propriedades específicas, demandando cálculos precisos para tensões e deformações. A Associação Nacional Pisos Revestimentos Alto Desempenho – Anapre, sublinha a função vital dos pisos de concreto no suporte a atividades produtivas e na movimentação de cargas, resistindo a variados esforços. Adicionalmente, destaca-se que os pisos de concreto podem ser compostos por até cinco camadas, cada uma cumprindo papéis cruciais tanto na execução quanto na prevenção e tratamento de possíveis falhas construtivas e manifestações patológicas.

### **2.1 Tipo de Pisos/Pavimentos de Concreto**

Os pisos de concreto, dado à sua versatilidade, adequam-se a diferentes cargas e requisitos estruturais e funcionais. É essencial compreender as características dos diversos tipos de pisos, incluindo tecnologia, comportamento dos materiais, métodos de dimensionamento, logística de execução, envolvimento dos profissionais e considerando-se os princípios das engenharias: segurança, economia e durabilidade. Quanto à sua classificação, os pisos podem ser divididos em quatro aspectos, conforme Quadro 1.

## 2.2 Etapas Executivas do Piso Industrial

Os pisos de concreto, dado à sua versatilidade, adequam-se a diferentes cargas e requisitos estruturais e funcionais. É essencial compreender as características dos diversos tipos de pisos, incluindo tecnologia, comportamento dos materiais, métodos de dimensionamento, logística de execução, envolvimento dos profissionais e considerando-se os princípios das engenharias: segurança, economia e durabilidade. Quanto à sua classificação, os pisos podem ser divididos conforme os aspectos, apresentado no Quadro 1.

	<b>Escola Americana</b>	<b>Escola Europeia</b>
<b>Referências para dimensionamento</b>	PCA, AASHTO, Westergaard, Pickett e Ray, Packard	Lösberg e Meyerhof
<b>Sistema construtivo</b>	Concreto simples	Concreto armado com telas soldadas, fibras de alto módulo e protensão
<b>Tamanho das placas</b>	Pequenas dimensões	Grandes dimensões
<b>Consumo de concreto</b>	Elevado	Baixo
<b>Custo inicial e manutenção</b>	Elevado	Baixo
<b>Quantidade de juntas</b>	Elevado	Baixo
<b>Custo e complexidade de execução</b>	Baixo	Elevado

Quadro 1 – Classificação do sistema de pisos de concreto segundo as escolas americanas e europeia. (Anapre, 2009).

## 3 | MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DOS PISOS DE CONCRETO

A patologia em pisos de concreto, que trata dos desvios ou anomalias nas estruturas, conforme definido por Cánovas, 1988, muitas vezes resulta de falhas na execução ou no projeto, trazendo prejuízos significativos às operações industriais. Isso inclui aumento nos custos de manutenção, redução na durabilidade dos equipamentos, perda de produção, problemas logísticos, falhas em dispositivos eletrônicos e prejuízo estético. Para prevenir essas questões, é essencial controlar rigorosamente todas as etapas de execução do pavimento, realizar classificação adequada das manifestações patológicas identificadas e efetuar testes para verificar material, equipamento e mão de obra.

### 3.1 Tipos, Causas de Trincas e Deslocamentos (Fissuras) do Pavimento de Concreto

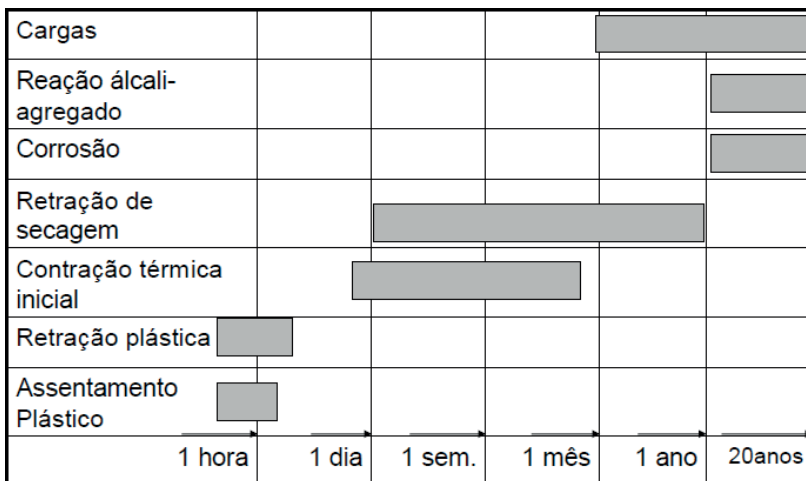
Das diversas manifestações patológicas comuns em pisos industriais de concreto, destacam-se a fissuração por retração, o esborcinamento de juntas, o desgaste por abrasão, problemas associados à umidade ascendente, o empenamento das bordas

(*curling*), a delaminação (*delamination*) e o fenômeno conhecido como ‘borrachudo’ (*crusting*), conforme Chodounsky, 2010.

Dentre esses, a fissuração excessiva se destaca como o dano mais prevalente, sendo influenciada tanto por alterações internas no comportamento do material ao longo do tempo (efeitos reológicos), quanto pela sua composição e pelos esforços aplicados. As fissuras podem variar em tamanho, desde microfissuras de aproximadamente 0,05 mm até aberturas consideravelmente maiores, de acordo com Filho e Carmona, 2013.

### 3.2 Fissuração

As fissuras em estruturas de concreto podem surgir de tensões devido à restrição de movimento, retração durante a secagem, variações térmicas, deformações plásticas, expansão de materiais internos, como corrosão de armaduras, e condições externas. O ‘concreto jovem’ é mais propenso a fissuras nas primeiras horas após a concretagem, conforme mostra o Quadro 2. Portanto, é crucial monitorar e gerenciar esses fatores para reduzir o risco de fissuração.



Quadro 2 – Causas de fissuração do concreto a partir da concretagem. (Granato, 2014).

A fissuração em pisos industriais de concreto, que geralmente se manifesta em pequenas aberturas longitudinais, representa um desafio significativo para a manutenção e preservação da integridade estrutural, uma vez que cria vias de infiltração para agentes nocivos. Mesmo com esforços para prevenção, a fissuração pode ser difícil de evitar completamente.

As causas das deformações que levam à fissuração podem ser intrínsecas, relacionadas a fatores internos do material; extrínsecas, devido a influências externas; ou uma combinação de ambas, aumentando a complexidade do problema. Existem cinco

categorias principais de fissuras em concreto identificadas na literatura, cada uma com suas causas e impactos específicos na durabilidade e funcionalidade das estruturas: fissuração por retração, fissura estrutural, retração química, excesso de água na superfície e efeitos da temperatura. Identificar corretamente a causa é fundamental para adotar as medidas corretivas adequadas. Alguns tipos de fissuras nas estruturas são apresentados na Figura 1.

### 3.2.1 Fissuração por retração

As fissuras por retração, conforme modelo da Figura 2 em pisos de concreto, caracterizadas por aberturas regulares alinhadas às juntas serradas, são influenciadas por uma variedade de fatores (Figura 1). Estes incluem atrasos no corte das juntas, inadequação do reforço estrutural e restrições à movimentação das placas, por vezes devido à preparação insuficiente da base e resultando em espessuras irregulares. Para mitigar essas fissuras, é crucial considerar a geometria estrutural, a composição do concreto e as condições ambientais durante o planejamento e execução do projeto, visto que cada um desses fatores desempenha um papel essencial na prevenção e controle da fissuração por retração. Três características que, combinadas, levam o concreto a retrair: geometria da estrutura, traço do concreto e condições climáticas.

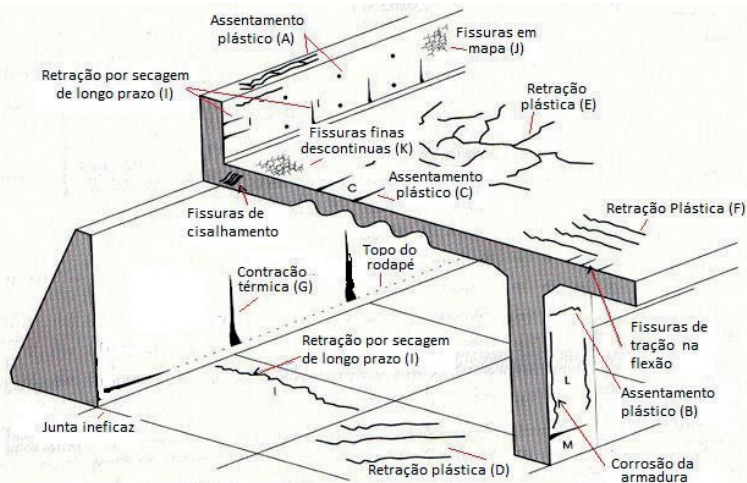


Figura 1 – Tipos de fissuras nas estruturas de concretos. (Granato, 2014).



Figura 2 – Fissura no concreto por retração. (Granato, 2014).

- **Geometria da estrutura:** a geometria estrutural influencia significativamente a retração do concreto, especialmente em peças com alta razão entre superfície exposta e volume, onde a perda de água é mais rápida. Essa condição é agravada pelo uso crescente de placas de concreto maiores e mais esbeltas, tornando pisos e pavimentos mais suscetíveis aos efeitos da retração, o que requer atenção e medidas preventivas para prevenir danos estruturais.
- **Traço do concreto:** a retração do concreto, em especial a causada por secagem, é fortemente influenciada pela composição e propriedades dos materiais utilizados. Fatores como tipo e características dos agregados, proporção água-cimento, e a inclusão de adições minerais e aditivos químicos são cruciais. Para reduzir a retração, é aconselhável usar agregados com alto módulo de deformação, limitar o uso de água, evitar agregados com excesso de material pulverulento e argila, e preferir uma distribuição granulométrica contínua.
- **Condições climáticas:** condições climáticas extremas, como altas temperaturas, baixa umidade e ventos fortes, potencializam a perda de água por evaporação no concreto, levando à retração e à formação de diversos tipos de fissuras. Estas fissuras, que incluem retração plástica, hidráulica, por carbonatação, térmica e microfissuras “pé-de-galinha”, ameaçam a durabilidade e a integridade do concreto. Em situações específicas, a taxa de evaporação pode chegar a 1 litro/m<sup>2</sup>/hora, intensificando a retração plástica. É crucial entender esses fenômenos e suas condições propulsoras para desenvolver e aplicar estratégias eficazes de mitigação e preservar a estrutura de concreto.

### 3.2.2 Tipos de fissura por retração

- **Fissuras de retração plástica:** fissuras de retração plástica no concreto, conforme Figura 3, são rasas, pequenas (menos de 0,5 mm) e formam-se em ân-

gulos de 45° a 60° em relação ao eixo longitudinal durante o endurecimento do concreto. Ocorrendo antes da pega e representando 1% do volume de cimento, essas fissuras são influenciadas por condições ambientais e pela taxa de evaporação da água. É vital gerenciar a temperatura do concreto fresco e dos materiais para minimizar o risco dessas fissuras, dada a propriedade da água em reter calor.



Figura 3 – Fissura causada por retração plástica. (Abcp, 2003).

- **Fissuras de retração hidráulica ou por secagem:** a retração hidráulica, ou por secagem, conforme apresentado na Figura 4, ocorre devido à perda gradual de água de amassamento do concreto, sendo mais intensa em pastas e argamassas devido ao maior teor de água. Fatores como escolha inadequada de juntas, armadura insuficiente ou mal posicionada, e práticas construtivas que restrinjam o movimento da estrutura ou aumentem o atrito com a base, podem contribuir para fissuras associadas à retração por secagem. Portanto, é essencial atentar-se a esses elementos para assegurar a durabilidade e integridade estrutural do concreto.

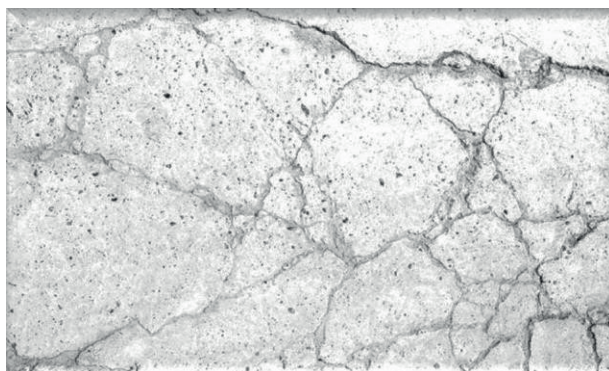


Figura 4 – Fissuras de retração por secagem. (Anapre, 2016).

- **Retração por carbonatação:** a retração por carbonatação, conforme Figura 5, ocorre quando os cristais de hidróxido de cálcio em tensão se dissolvem e formam carbonato de cálcio em áreas menos tensionadas, um processo que pode levar à retração e microfissuras superficiais com aparência de craqueamento. Esse fenômeno geralmente se manifesta em períodos que variam de 5 a 20 anos e é intensificado pelo teor de cimento e pelo confinamento proporcionado pelas paredes adjacentes.

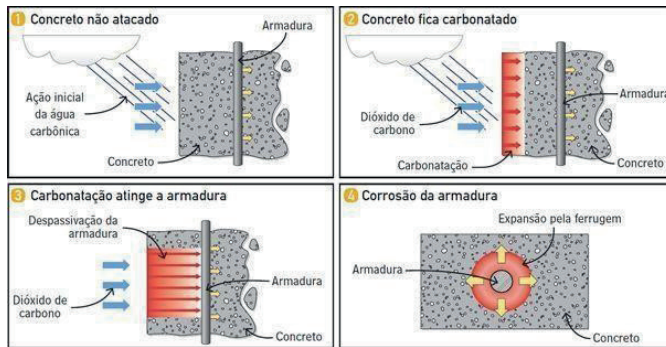


Figura 5 – Ação da ocorrência de carbonatação. (Anapre, 2016).

- **Retração térmica:** a retração térmica no concreto, apresentado na Figura 6, induzida por variações de temperatura durante e após a hidratação do cimento, é um fenômeno crítico, especialmente em estruturas de grande volume. Essas mudanças volumétricas requerem atenção especial para assegurar a durabilidade e integridade da construção.



Figura 6 – Fissuração por contração e retração térmica. (Granato, 2014).

- **Microfissuras tipo “pé-de-galinha”:** As microfissuras “pé-de-galinha”, conforme Figura 7, são sutis e tendem a se tornar mais visíveis com ciclos de umidade, especialmente em pisos sujeitos à acumulação de sujeira. Mesmo evidentes, nem sempre indicam problemas estruturais. Sua formação está associada a condições ambientais desfavoráveis, técnicas incorretas de acabamento, uso de concreto rico em finos, impurezas nos agregados e cura inadequada. Preve-

nir e controlar esses fatores é essencial para manter a integridade e aparência do piso.

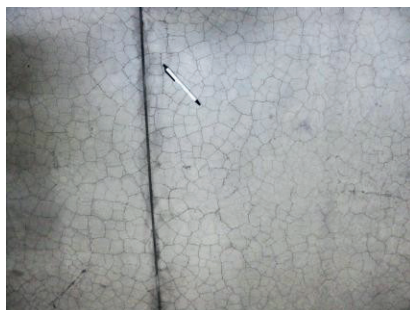


Figura 7 – Microfissuras tipo “pé de galinha” em piso de concreto. (LPE, 2017)

### 3.3 Influências nas Manifestações Patológicas

#### 3.3.1 *Influência ambiental sobre a evaporação da água*

A observação constante da taxa de evaporação da água é fundamental durante a concretagem para prevenir fissuras por retração plástica. Essa taxa é determinada pela temperatura ambiente, umidade relativa, temperatura do concreto e velocidade do vento, exigindo medições específicas para cada parâmetro. Uma taxa de evaporação de 1 Kg/m<sup>2</sup>/h ou mais sinaliza um alto risco de fissuração, necessitando de ações imediatas para manter a integridade do concreto. Através do ábaco da Figura 8, pode-se avaliar o risco do desenvolvimento de fissuras no concreto.

Para utilizar o diagrama, é necessário medir as quatro variáveis envolvidas. Assim, entre primeiro com a temperatura do ar e encontre a umidade relativa; mova este ponto até encontrar a temperatura do concreto e em seguida mova até a velocidade do vento. Mova para a esquerda e leia a taxa de evaporação aproximada.

A taxa de evaporação também pode ser calculada por meio da seguinte expressão (ACI, 2007).

$$E = 5 \left( [T_c - 18] 2 \times 5 - r [T_a + 18] 2 \times 5 (V + 4) \times 10 - 6 \right)$$

Onde:

**E** = taxa de evaporação (kg/m<sup>2</sup>/h);

**T<sub>c</sub>** = temperatura do concreto (°C);

**T<sub>a</sub>** = temperatura do ar (°C);

**r** = umidade relativa do ar (%);

**V** = velocidade do vento (km/h).



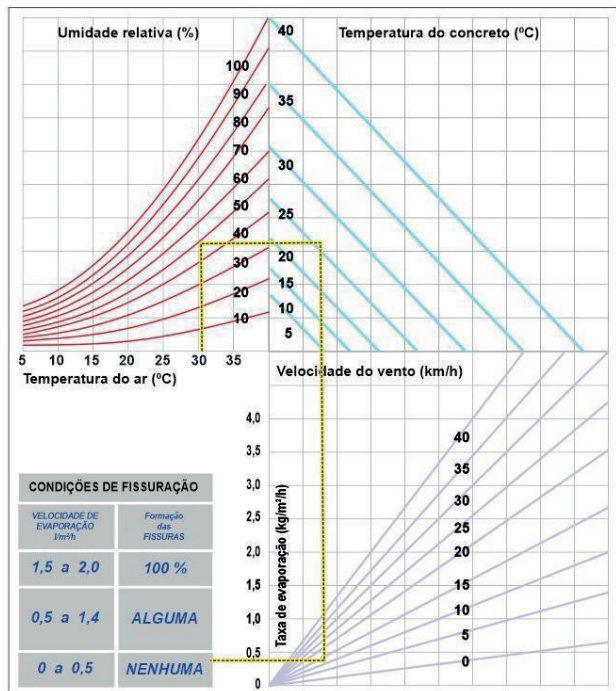


Figura 8 – Ábaco de influência ambiental sobre a evaporação da água do concreto. (Cánovas, 1988).

### 3.3.2 Influência da resistência inicial

Concretos com menores resistências mecânicas nas primeiras horas apresentam menos combate as tensões de tração que levam a fissuração. A recomendação do PCA para o caso de concretos elaborados com cimentos com adição de pozolona e outras adições de elevada área específica (sílica ativa ou metacaulium) é que a taxa de evaporação considerada crítica seja reduzida a 1,0Kg/m²/h para 0,5Kg/m²/h.

## 4 | PROCESSOS CONSTRUTIVOS E MÉTODOS PREVENTIVOS

Conforme Romero e Pileggi, 2017, o processo construtivo de pavimentos de concreto deve ser acompanhado por métodos preventivos para minimizar fissuras, especialmente em pisos críticos devido à circulação de equipamentos pesados.

### 4.1 Medidas preventivas

Prevenir fissuras requer compreender e controlar todas as etapas da construção dos pisos. O processo de construção inclui a concepção do projeto, a execução das tarefas de acordo com o cronograma e a utilização coerente com o projeto. Custos de

intervenção aumentam exponencialmente quanto mais tarde forem realizadas. Portanto, é mais econômico investir em medidas preventivas no estágio de projeto.

## 4.2 Projeto

O projeto é essencial para definir a resistência necessária, suportar as condições ambientais e garantir a durabilidade do pavimento. É crucial contar com profissionais especializados, mão de obra qualificada e considerar medidas como aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação água/cimento do concreto e especificar tratamentos protetores de superfície.

## 4.3 Análise do Terreno de Fundação, Terraplanagem e Compactação

Como os solos são muito diferentes entre si, respondendo de maneira variável às solicitações aplicadas, torna-se necessário o estudo sistemático de suas propriedades e, principalmente, da observação do seu comportamento.

O estudo do solo é essencial para pavimentos industriais. A preparação do subleito é crítica para atingir a compactação exigida. Em alguns casos, é necessário reforçar o subleito com materiais granulares ou estabilizantes químicos para atender aos requisitos do projeto, conforme pode-se observar na Figura 9.



Figura 9 – Preparação do subleito. (Romero, 2016).

## 4.4 Constituintes do Concreto

Determinar a espessura e as armaduras necessárias para resistir aos esforços é crucial. O dimensionamento das armaduras pode ser determinado com cálculos precisos, tanto para armaduras inferiores quanto superiores.

## 4.5 Concretagem do Piso

A concretagem é uma etapa crítica, pois pode levar a diversas manifestações patológicas, incluindo fissuras. O desempenho final do piso está associado à concretagem adequada, que inclui resistência à abrasão.

## 4.6 Mistura do Concreto

O concreto usinado é amplamente utilizado em obras industriais. Caminhões betoneiras são comuns para a concretagem de pisos industriais.

## 4.7 Lançamento do Concreto

O lançamento do concreto é uma operação importante que afeta o desempenho do piso. Equipamentos como caminhões betoneiras e bombas são usados para essa tarefa. Cuidado é necessário para evitar danos à armadura, como não permitir o trânsito de operários por sobre a armadura durante os trabalhos, conforme demonstra a Figura 10.



Figura 10 – Trânsito de operário sobre a armadura. (Granato, 2014).

## 4.8 Adensamento do Concreto

O adensamento do concreto é essencial para remover vazios e aumentar a resistência. Réguas vibratórias e vibradores de imersão são comuns para essa operação, como por exemplo, o uso de equipamentos *Laser Screed*, que permitem grande produtividade variando entre 1.500 e 3.000 m<sup>2</sup> por dia, conforme demonstrado na Figura 11.



Figura 11 – Equipamento do tipo Laser Screed. (Aquarius Tech, 2017)

## 4.9 Acabamento Superficial

A superfície do pavimento é a principal fonte de medida do seu desempenho, pois é ela que estará em contato com todas as ações solicitantes. Podem-se dividir os pavimentos de concreto em dois grandes grupos: os de camada única, onde o próprio concreto da laje funciona como revestimento, e os com revestimento, muitas vezes impropriamente chamados de revestimentos de alta resistência, que podem ser executados por dois procedimentos distintos, denominados úmido-sobre-úmido e úmido-sobre-seco.

O acabamento superficial é crítico para a planicidade do piso. Deve ser feito com cuidado, usando equipamentos como as acabadoras de superfície. O desempenho mecânico e o alisamento são etapas importantes para obter uma superfície lisa e resistente.

## 4.10 Cura do Concreto

A cura do concreto é um processo crucial que envolve tempo, temperatura e umidade para promover a hidratação do cimento. O grau de hidratação do cimento afeta a porosidade da pasta de cimento hidratada. Tempo e umidade são críticos, e a temperatura também acelera a hidratação. Cura úmida e temperatura controlada são ideais para manter a resistência do concreto.

**Tempo:** O período de cura afeta diretamente a resistência do concreto. Mais tempo de cura resulta em maior resistência, desde que a hidratação ainda esteja ocorrendo.

**Umidade:** A cura úmida contínua é mais eficaz do que a cura ao ar, e a perda de água por evaporação prejudica a resistência.

**Temperatura:** A temperatura afeta a hidratação do cimento. Temperaturas mais altas aceleram a hidratação, mas temperaturas extremamente baixas podem prejudicar a resistência final.

#### 4.11 Corte das Juntas

As juntas em pisos de concreto são essenciais para permitir a movimentação, mas também podem ser o elo mais fraco da estrutura. Diferentes tipos de juntas, como juntas longitudinais de construção, juntas serradas e juntas de expansão, são usados para garantir a transferência adequada de carga e manter a planicidade. As juntas podem ser de três tipos: **a) Juntas Longitudinais de Construção:** São necessárias em função de equipamentos, geometria e requisitos de planicidade. Podem ser do tipo macho-e-fêmea ou usar barras de transferência; **b) Juntas Serradas:** Deve-se cortá-las 10 horas após o lançamento do concreto, com uma profundidade de cerca de 1/3 da espessura da placa; e **c) Juntas de Expansão:** Usadas para isolar o piso de outras estruturas. Devem permitir a transferência de carga adequada entre placas contíguas.

#### 4.12 Barras de Transferência

As barras de transferência são cruciais para a resistência do piso de concreto. O espaçamento e o diâmetro das barras são essenciais, comumente a 30 cm. A norma ABNT NBR 6118:2003 define requisitos para o posicionamento e o recobrimento adequados

### 5 | CONCLUSÕES

Em assim sendo, ressalta-se a crucial importância de empregar profissionais altamente qualificados e equipamentos específicos para a execução de pisos industriais, enfatizando a adesão a padrões de qualidade rigorosos em todas as fases do processo construtivo. O artigo destaca o papel fundamental do projeto na prevenção de manifestações patológicas, sublinhando a necessidade de uma avaliação minuciosa do local e uma compreensão completa das exigências da atividade a ser desenvolvida. Essa abordagem preventiva é essencial para antecipar solicitações estruturais e fornecer dados para cálculos, logística e estratégias de mitigação de fissuras.

Enfatiza-se, ainda, a importância de seguir rigorosamente procedimentos e verificações específicas, desde a análise do solo e elaboração de projetos até a preparação do subleito, seleção de materiais e gestão de equipamentos. Além disso, práticas construtivas adequadas e uma atenção especial ao processo de cura são fundamentais para garantir a resistência e durabilidade do concreto. Reconhecemos que, apesar dos esforços para minimizar manifestações patológicas, é desafiador garantir a conformidade total com as melhores práticas em todas as etapas, sendo a identificação da fase mais crítica para prevenir fissuras um desafio contínuo. Concluímos que a coleta e análise extensiva de dados são ferramentas indispensáveis para entender e mitigar manifestações patológicas em pisos de concreto.

## REFERÊNCIAS

Abnt – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2003: Projetos de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

Abcp – Associação Brasileira de Cimento Portland. Inspeção e Diagnóstico do Concreto Aplicado em Lajes de Edifícios Residenciais. Relatório 25114. São Paulo, 2003.

Anapre – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. Mídia Institucional, 2009. [http://www.anapre.org.br/cd2009/anapre\\_final.html](http://www.anapre.org.br/cd2009/anapre_final.html)

Anapre – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho. Boletins Técnicos 1 a 24. Anapre, 2010. <https://site.anapre.org.br/boletins-tecnicos>

Aquarius Tech. Laser Screed. <http://aquariustech.net/SCREEDSAVER-2.html>

Cánovas, M. F. Patologia e terapia do concreto armado. 1 Ed. São Paulo: Pini, 1988. 522p. Chodounsky, M. A. Patologias em pisos industriais. São Paulo, 2010.

Filho, A. C., Carmona, T. G. Boletim Técnico 03: fissuração nas estruturas de concreto. México: Alconpat, 2013.

Granato, J. E. Patologia das construções. São Paulo, 2014.

LPE Engenharia. Fissuras tipo “couro de jacaré”: é de fato um problema? <http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/fissuras-tipo-couro-de-jacare-e-de-fato-um-problema>

Romero, J. R. H. Patologia do concreto: trincas e fissuras. Universidade Paulista - UNIP. Ribeirão Preto, 2016.

Romero, J. R. H., Pileggi, R. S. Determinação dos principais procedimentos que se devem ser adotados na execução de um piso/pavimento de concreto com o propósito de se prevenir a ocorrência das fissurações. TCC Pós-Graduação. São Paulo: Instituto IDD, 2017.

# PLANEJAMENTO DE ESTOQUES E DA ARMAZENAGEM USANDO O LABLOG

*Data de submissão: 08/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Mariana Lopes Silva**

Acadêmico do curso de graduação em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Campinas e bolsista de iniciação científica FAPIC Campinas, SP, Brasil

### **Marcos Ricardo Rosa Georges**

Docente do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e graduação em Administração e Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, SP, Brasil

**RESUMO:** Este artigo apresenta um estudo sobre aplicação de metodologias de planejamento de estoques e da armazenagem utilizando o laboratório de logística chamado LabLog. O estudo foi conduzido como um experimento, no qual foram feitas quatro simulações, com cenários de tamanho e complexidade crescente. Para cada cenário, foi aplicado uma técnica para determinar os níveis adequados dos estoques e o tamanho do armazém. Os resultados são apresentados em detalhes e depois é discutido as limitações do LabLog e como estes tópicos podem ser mais bem

ensinados se apoiados por metodologias ativas como a gamificação a aprendizagem baseada em problemas.

**PALAVRAS-CHAVE:** logística; gestão de estoques; lote econômico; armazenagem; ensino.

## INVENTORY AND STORAGE PLANNING USING THE LABLOG

**ABSTRACT:** This article presents a study on the application of inventory and storage planning methodologies using the logistics laboratory called LabLog. The study was conducted as an experiment, in which four simulations were performed, with scenarios of increasing size and complexity. For each scenario, a technique was applied to determine adequate stock levels and warehouse size. The results are presented in detail and then the limitations of LabLog are discussed and how these topics can be better taught if supported by active methodologies such as gamification and problem-based learning.

**KEYWORDS:** logistics; inventory management; economic batch; storage; teaching.

## 1 | INTRODUÇÃO

A logística é parte fundamental das operações de toda organização. No âmbito empresarial, a logística é determinante para suprir as necessidades de produção e dispor o produto com melhor oferta ao mercado.

Em linhas gerais, Waters (2019)<sup>1</sup> afirma que a logística é responsável por todos os aspectos da movimentação e armazenagem de material ao longo de sua jornada que começa nos fornecedores originais e termina no consumidor final.

Para Akdeniz (2018)<sup>2</sup>, logística requer muito planejamento e detalhamento do que será feito e é parte de uma complexa função que envolve armazenagem, embalagem, transporte e entrega de bens aos consumidores conforme a demanda.

Na perspectiva da educação em logística, Georges & Seydell (2008)<sup>3</sup> apontam vários os desafios do ensino da logística, e desenvolver a competência para planejar e controlar um sistema logístico de distribuição que seja eficiente e eficaz é, quase sempre, objetivo almejado nas disciplinas de logística.

Por outro lado, emergem abordagens inovadoras, como o uso de jogos educativos, que promovem ambientes interativos e realistas para a aprendizagem, permitindo que os alunos testem habilidades e conhecimentos em situações práticas sem riscos tangíveis para empresas e meio ambiente.

A perspectiva construtivista de Piaget (1973)<sup>4</sup>, que enfatiza a construção ativa do conhecimento por meio da interação do sujeito com o ambiente, orienta a busca por estratégias de ensino integradas e realistas. Nesse sentido, a aplicação de jogos de empresas, como o Jogo da Logística<sup>5,6</sup> e o LabLog<sup>7,8</sup>, que simulam desafios logísticos verossímeis, alinha-se com essa filosofia pedagógica.

Essa abordagem prática e simulada possibilita que os alunos vivenciem situações cotidianas do contexto empresarial, preparando-os para enfrentar decisões complexas no campo da logística.

Portanto, este artigo apresenta um estudo que teve como objetivo explorar o planejamento de estoques e da armazenagem na perspectiva do processo de ensino e aprendizagem e utilizando o Lablog, um laboratório de logística derivada do Jogo da Logística.

Os tópicos do planejamento de estoques e da armazenagem abordados envolvem o conceito de lote econômico de compras, o estoque de segurança, o modelo de revisão contínua e de revisão periódica, o lote econômico com desconto por quantidade e lote econômico de pedidos conjuntos, além do dimensionamento do tamanho e definição de leiaute do armazém.

É uma extensa gama de métodos para planejamento de estoques e da armazenagem no âmbito do planejamento de um sistema logístico de distribuição, e a aplicação de tais técnicas podem ser feitas de uma forma lúdica, com maior engajamento e com mais



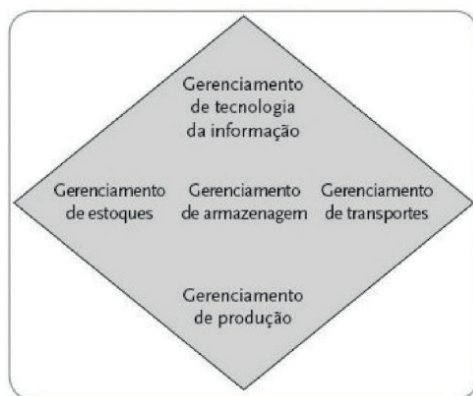
significado se apoiada com métodos ativos, tal como os jogos sérios utilizados neste trabalho.

## Logística empresarial

O *Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP)* define logística como sendo parte da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo direto e reverso e a armazenagem de bens, serviços e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo de modo a atender os requisitos do consumidor (CSCMP, 2023)<sup>9</sup>.

Ainda segundo o CSCMP<sup>9</sup>, a atividade logística inclui o gerenciamento de transporte de entrada e saída de material, o gerenciamento de frota, o armazenamento, o manuseio de materiais, o atendimento de pedidos, o projeto de rede logística, o gerenciamento de estoque, o planejamento da oferta e da demanda e gerenciamento de provedores de serviços logísticos terceirizados. A função logística também inclui o fornecimento e aquisição, planejamento e programação de produção, embalagem e montagem e atendimento ao cliente.

David Grant (2017)<sup>10</sup> apresenta uma figura bastante simples que destaca quais são as principais dimensões da logística, a saber: gerenciamento da tecnologia da informação, gerenciamento dos estoques, gerenciamento da armazenagem, gerenciamento dos transportes e gerenciamento da produção. Estas dimensões estão ilustradas na Figura 1 a seguir.



**Figura 1.** Dimensões da logística

**Fonte:** Grant (2017, p. 3).

O foco deste trabalho está na gestão de estoques e na gestão da armazenagem, então, serão estes os assuntos a serem detalhados nas seções seguintes.

## Gestão de estoques

Os estoques são elementos fundamentais no atendimento da demanda previsível, alimentam todo o fluxo produtivo, permite racionalização no processo de compras, garante a homogeneidade nos processos produtivos e permite às organizações a prática de economias de escalas (ACCIOLY *et al.*, 2019)<sup>11</sup>.

A gestão de estoques é um desafio complexo em organizações, exigindo um equilíbrio entre estoque baixo, que pode levar a perdas de economia de escala, e excesso de estoque, que resulta em custos operacionais. Considerada crucial para decisões gerenciais, a gestão de estoques é essencial para otimizar aquisições e minimizar custos em uma organização industrial (BERTAGLIA, 2020)<sup>12</sup>.

De um modo geral, empresas de varejos gerenciam seus estoques sob a perspectiva da demanda independente, e empresas de manufatura gerenciam seus estoques sob a perspectiva da demanda dependente, pois existe uma relação de dependência explícita entre a quantidade de matéria prima a ser comprada com o produto a ser produzido (SANTORO & FREIRE, 2008)<sup>13</sup>.

Para a gestão de estoques sob demanda independente, as principais decisões dizem respeito a política de manutenção dos estoques, a quantidade de itens a ser comprada, a frequência e periodicidade da compra e os níveis de estoque de segurança.

Para uma situação idealizada, é possível assumir que o custo total anual (CT) é a soma de três parcelas de custo, o custo anual da compra dos itens, o custo anual de pedido e o custo anual de manutenção de estoque.

$$CT = D \cdot C + S \cdot \frac{D}{Q} + \frac{Q}{2} \cdot h \cdot C$$

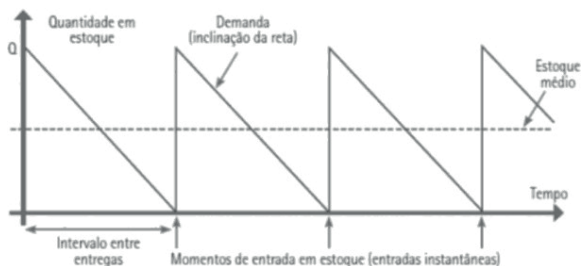
O custo anual de compra dos itens é determinado pela demanda anual (D) multiplicado pelo o custo unitário do item (C). O custo anual de pedidos é determinado pelo custo de pedido (S) multiplicado pelo número de pedidos feitos no ano (n) que, por sua vez, é determinado pela fração da demanda anual (D) pelo tamanho do lote (Q). O custo anual de manutenção de do item em estoque (h) é dado pelo estoque médio (Q/2) multiplicado pelo custo de manter uma unidade estocada durante um ano (h.C).

O modelo clássico do lote econômico é obtido determinando-se o tamanho do pedido (Q) que minimiza o custo total anual (CT). Essa quantidade é chamada de lote econômico<sup>1,2,5,7,10,11,12,13,14,15</sup>.

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{h \cdot C}}$$

Na situação idealizada com demanda constante e uniforme e com o estoque sendo reabastecido com o lote econômico de compra (Q), o custo total (CT) será mínimo e o

gráfico da dinâmica dos níveis de estoque ao longo do tempo se parece com um gráfico dente de serra, tal como a figura 2 a seguir ilustra.



**Figura 2.** Dinâmica dos níveis de estoque ao longo do tempo

**Fonte:** Neto (2022, p. 44)<sup>15</sup>.

No entanto, na maioria absoluta das vezes a demanda não é constante nem uniforme. Para adequar a situação, foi desenvolvido duas variantes no modelo de lote econômico lidar com a incerteza. Essas variantes são chamadas de modelo de revisão contínua e modelo de revisão periódica, e ambos os modelos estão sujeitos a falta de produto, então requerem estoque de segurança.

Em algumas situações, o fornecedor oferece descontos progressivos no preço do produto em razão de pedidos com quantidades maiores. Para se adequar a situação, desenvolveu-se o modelo de lote econômico com descontos por quantidade.

Em outras situações, há diferentes produtos comprados do mesmo fornecedor que podem ser entregues conjuntamente, resultando em alguma economia. Para esta situação, há o lote econômico de pedido conjunto.

Apesar da sua importância, muitas empresas negligenciam a gestão de estoques, relegando-a a níveis organizacionais inferiores. No entanto, algumas empresas perceberam seu potencial para vantagens competitivas, considerando-a em toda a cadeia de suprimentos. A variedade de práticas existentes, desde análises econômicas a soluções pouco efetivas, destaca a necessidade de abordagens adaptadas ao contexto, incorporando dados dinâmicos e favorecendo a melhoria contínua para resultados logísticos mais eficazes (GARCIA *et al.*, 2006)<sup>16</sup>.

As decisões relacionadas a gestão de estoques conduzem a organização a necessidade de tomar decisões relacionadas a gestão de armazenagem.

## Gestão de armazenagem

Armazém é o local destinado para guardar materiais e produtos que as empresas utilizam, e devem ser projetados para facilitar o fluxo de entrada e saída de suas matérias-primas e dos produtos acabados

A armazenagem é um componente essencial da logística, assegurando o gerenciamento eficaz e seguro de produtos para entrega pontual. Princípios fundamentais incluem planejamento, flexibilidade, integração, otimização de espaço e automação. Diversos equipamentos, como palete e empilhadeira são empregados. O layout é crucial para eficiência, visando minimizar distâncias percorridas, otimizar espaço e acessibilidade, melhorar uso de recursos e facilitar movimentações seguras no armazém (JESUS & TORRES, 2014)<sup>17</sup>.

Uma das principais tarefas relacionadas a gestão da armazenagem é a definição do sistema de armazenagem e, conseqüentemente, do tamanho do armazém. É possível armazenar os produtos de diferentes formas, o sistema porta palete é o sistema mais comum, que se parece no supermercado, sendo dispostos em ruas e corredores e acondicionados em estruturas que permite acessar qualquer unidade de produto a qualquer momento (BALLOU, 2009)<sup>18</sup>. O dimensionamento de armazéns neste artigo seguirá o padrão porta palete de armazenamento.

### **Serious games, jogo da logística e lablog**

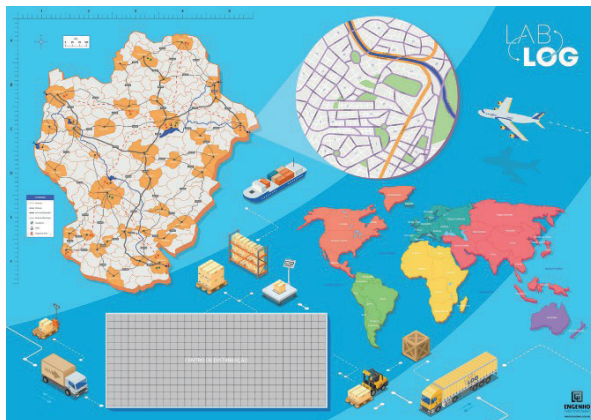
Os *Serious Games* (SG) são jogos desenvolvidos para educar, treinar e mudar o comportamento. Como vantagens os SG apresentam a possibilidade de replicação em diferentes e incontáveis momentos, inserir o estudante em situações incomuns, *feedbacks* direcionados à atuação do estudante, custo reduzido se comparados a outros simuladores; entretenimento e a prática do raciocínio analítico, tomada de decisão em ambiente seguro e controlado (OLIVEIRA *et al.*, 2021)<sup>19</sup>.

Ainda segundo Oliveira *et al.* (2021)<sup>19</sup>, as limitações dos SG são o desconhecimento sobre o método pode culminar em desinteresse; o número de casos a que os alunos são expostos; falta de monitoramento a longo prazo; o próprio *design* limita o usuário quanto ao toque ou olhar da experiência real. Embora existam limitações, quando associado às demais estratégias já difundidas da sala de aula o SG tem se mostrado útil para o ensino. É fundamental difundir essa estratégia, para que os estudantes cheguem mais preparados ao ambiente real.

Observando as vantagens que os jogos sérios podem trazer, surge o Jogo da Logística, uma tentativa de gamificar uma operação logística usando elementos lúdicos de jogos, como cartas, dados, peças e um tabuleiro. O Jogo da Logística foi desenvolvido por Georges (2009)<sup>6</sup> e Georges (2010)<sup>7</sup> e se passa no Estado de São Paulo, onde o estudante é colocado na condição de um gerente de logística e é provocado a tomar decisões logística, tais como definir a localização do armazém, fazer rotas de entrega e dimensionar a frota e definir níveis adequados de estoques e projetar um armazém.

O LabLog é uma versão aprimorada e comercial que evoluiu do Jogo da Logística. O LabLog não é um jogo, mas é possível criar uma dinâmica de jogo com ele, pois ele

traz consigo diversos elementos em comum com o jogo, como tabuleiro, cartas, dados e peças que permite elaborar diversos cenários úteis no processo de ensino aprendizagem. A Figura 3 exibe o tabuleiro do LabLog.



**Figura 3.** Tabuleiro do laboratório de logística LabLog.

**Fonte:** <https://www.lablogistica.com.br/>

O tabuleiro do LabLog contém um mapa de um país fictício cujas cidades tem nomes de pedras. O tabuleiro também contém uma área quadriculada para projetar o armazém, um recorte de cidade e o mapa mundi. Mais além, o LabLog traz diversas peças que são miniaturas de veículos, de produtos, de prateleiras e equipamentos de movimentação que permite a elaboração de projetos de armazéns e construção de rotas sobre o tabuleiro.

O LabLog não é um jogo, pois ele não possui uma dinâmica e nem faz uso de mecânicas de jogos. Ele é apenas um artefato. Mas é possível executar a mesma dinâmica e mecânicas do Jogo da Logística e usar o LabLog como um jogo.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Esta é uma pesquisa natureza aplicada, de abordagem qualitativa e quantitativa, de objetivos exploratórios e executada por meio de experimentos com simulação. O experimento consiste na utilização do LabLog para simular o planejamento dos estoques e do armazém de uma operação de distribuição. Serão cinco simulações com cenários de tamanho e complexidade crescente. E, para cada simulação, foi feito o cálculo dos níveis adequados de produto por diferentes métodos e do dimensionamento do armazém. Para cada cenário simulado, foi feito uma simulação de cinco semanas de demanda para visualizar a dinâmica dos níveis de estoques e elaborar o gráfico de dente de serra.

O material utilizado consiste basicamente no LabLog com especial foco nas cartas dos produtos e no tabuleiro destinado a armazenagem.

Os métodos para dimensionamento dos níveis de estoques utilizados nas cinco simulações foram: lote econômico de compra, lote econômico com estoque de segurança, modelo de revisão contínua e revisão periódica, lote econômico com desconto por quantidade e lote econômico com pedido conjunto, além do dimensionamento do armazém. A seção seguinte apresenta os resultados.

### 3 | RESULTADOS

A seguir, estão apresentados os resultados de 4 simulações para o planejamento de estoques e da armazenagem do sistema de distribuição.

O sistema de distribuição a ser simulado é composto de uma base de clientes, um conjunto de produtos, fornecedores e um centro de distribuição.

Na primeira simulação, a base é formada por 5 clientes, 1 produto e 1 fornecedor. E, a cada nova simulação, o cenário vai ficando maior, com mais clientes na base, mais produtos e mais fornecedores.

Para cada cliente da base, a demanda semanal para cada produto distribuído em unidade de paletes será determinado pelo sorteio de um dado comum de 6 lados.

A partir dessa premissa, seguem as simulações efetuadas e os resultados obtidos.

#### Simulação 1

Nesta primeira simulação, o sistema de distribuição é composto por uma base com 5 clientes, um produto e um fornecedor. Os clientes, o produto e o fornecedor foram sorteados aleatoriamente a partir do conjunto de cidades (35), do conjunto de produtos (12) contidos no LabLog.

Sabendo que a demanda média semanal de cada cliente é de 3,5 unidades (valor esperado de um dado), e sabendo que o ano possui 52 semanas, então a demanda média anual (D) para o sistema de distribuição que atenderá uma base de 5 clientes será de 910 paletes ao ano, em média. As informações do custo fixo de pedido (S), do custo de manutenção do item em estoque (h) e do custo do produto (C) são fornecidas pela carta do produto do LabLog e estão na Tabela 1.

D	S	h	C
910	3200	25%	4000

**Tabela 1.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Assim, utilizando a fórmula do lote econômico de compra o tamanho ideal do pedido é de  $Q = 76,3$  paletes do produto. O ponto de ressuprimento exige informações como a

demanda média semanal ( $d = 5 \times 3,5$ ) e do *leadtime* médio de entrega ( $LT = 3$  semanas). Assim, o ponto de ressuprimento (ROP) = e de 52,5 unidades de paletes.

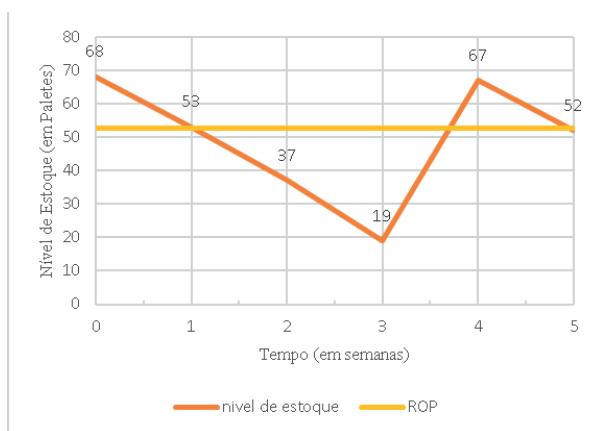
Na tabela 2 foi feita uma simulação de cinco semana da demanda da base de clientes para visualizar como o nível de estoque do centro de distribuição se comporta. O estoque inicial do centro de destruição na semana 0 é de 68 paletes, na semana 1, a demanda foi de 15 paletes, e o estoque no final desta semana foi de 53 paletes. A cada semana uma demanda foi gerada aleatoriamente por meio do sorteio de 5 dados comuns, um para cada cliente.

Tempo	Nível de estoque	ROP
0	68	52,5
1	53	52,5
2	37	52,5
3	19	52,5
4	67	52,5
5	52	52,5

**Tabela 2.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido

**Fonte:** elaborado pelos autores.

A Figura 4 apresenta o gráfico de dente de serra para a dinâmica do nível do estoque deste produto durante as cinco semanas simuladas.

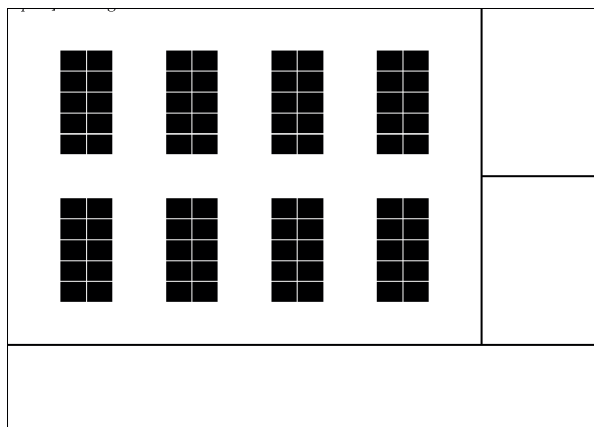


**Figura 4.** Gráfico de Nível de Estoque

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Observa-se que na primeira semana o nível de estoque fica a 0,5 paleta de atingir o ponto de pedido (ROP), provocando um pedido que chegará em 3 dias, estando disponível no final da semana 4.

O dimensionamento de armazém foi feito para o nível de estoque de 80 paletes a partir do arredondamento do lote econômico de 76,3 determinado. Não há empilhamento de produto. Não há estoque de segurança. Uma área para expedição, recebimento e área administrativa é requerida. A figura 5 exibe o projeto do layout do armazém.



**Figura 5.** Layout do Armazém

**Fonte:** elaborada pelos autores.

## Simulação 2

Nesta segunda simulação o cenário é constituído de 10 clientes, 2 produtos e 2 fornecedores. Todos os clientes, produtos e fornecedores são definidos aleatoriamente a partir das opções do LabLog.

O cálculo de dimensionamento do estoque foi feito pela fórmula do lote econômico (Q), mas agora foi acrescido o estoque de segurança. As informações necessárias para são dadas nas Tabela 3 e Tabela 4.

D	S	h	C
1820	3200	31%	2400

**Tabela 3.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 1

**Fonte:** elaborada pelos autores.

D	S	h	C
1820	450	35%	2800

**Tabela 4.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 2

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Assim, os cálculos do lote econômico para o produto 1 e para o produto 2 forneceram  $Q' = 122$  paletes do produto 1 e  $Q'' = 129$  paletes do produto 2. Sabendo que o tempo médio de fornecimento agora é de 2 semanas, o ROP é determinado em 70 unidades. A tabela 5



fornece os valores para cálculo do estoque de segurança e ROP dos dois produtos, sendo 90% e 85% os níveis de segurança exigido para cada produto.

Q	Z	ddlt	ES	ROP
122	1,28	28,82	36,89	70+37 = 107
129	1,04	29,87	29,92	70+30 = 100

**Tabela 5.** Dados para cálculo do ES e ROP

**Fonte:** elaborada pelos autores.

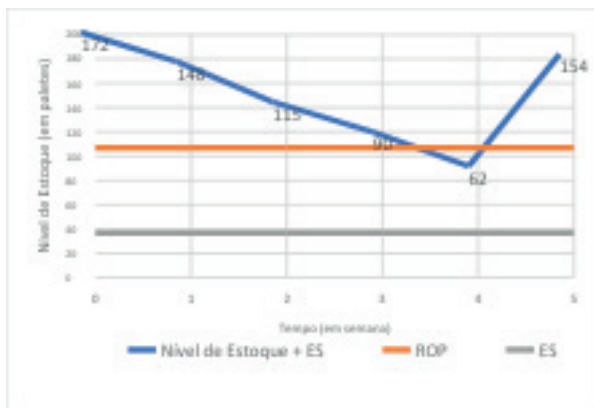
A tabela 6 apresenta a simulação da demanda para o produto 1, que agora é determinado pela soma de 10 dados. O estoque inicial na semana 0 foi de 172 paletes.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	172	107	37
1	148	107	37
2	115	107	37
3	90	107	37
4	65	107	37
5	154	107	37

**Tabela 6.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido do Produto 1.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A figura 6 a seguir ilustra o gráfico da dinâmica do estoque do produto 1.



**Figura 6.** Gráfico de Nível de Estoque do Produto 1

**Fonte:** elaborada pelos autores.

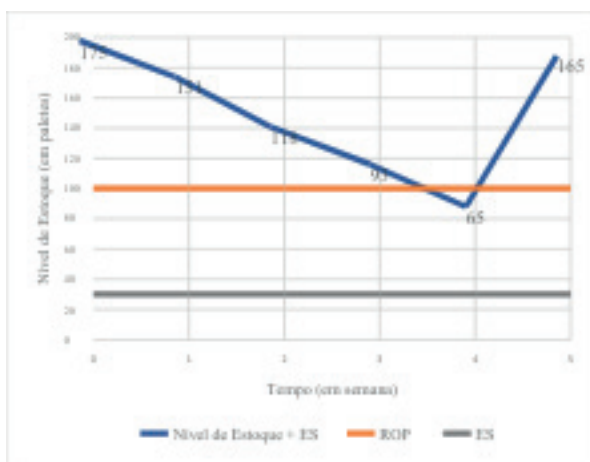
A tabela 7 apresenta a simulação da demanda para o produto 2, que agora também é determinado pela soma de 10 dados. O estoque inicial na semana 0 foi de 175 paletes para o produto 2.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	175	100	30
1	151	100	30
2	118	100	30
3	93	100	30
4	65	100	30
5	165	100	30

**Tabela 7.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido do Produto 2.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

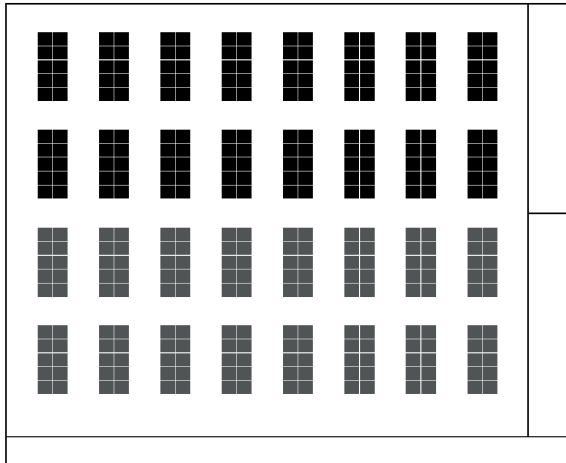
A figura 7 a seguir ilustra o gráfico da dinâmica do estoque do produto 2.



**Figura 7.** Gráfico de Nível de Estoque do Produto 2

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Para o dimensionamento do armazém, utilizou-se o tamanho do lote de cada produto mais o estoque de segurança. Assim, para o produto 1 serão necessários 122 mais 37, totalizando 159 posições paletes. E para o produto 2 são necessários 129 mais 30, totalizando 159 paletes também. Uma mera coincidência! Então, projetou-se um armazém de 320 posições, sendo 160 para cada produto, distribuído como mostra a Figura 8.



**Figura 8.** Layout do Armazém

**Fonte:** elaborada pelos autores.

O tamanho requerido do armazém quadruplicou no segundo cenário em relação ao primeiro cenário.

### Simulação 3

Nesta terceira simulação, a base de clientes é formada por 14 clientes, 4 produtos, 2 fornecedores e 1 centro de distribuição. Todos sorteados aleatoriamente.

O cálculo de dimensionamento do estoque foi feito pela fórmula do lote econômico (Q), mas adaptada para lidar com incerteza, seguindo o modelo de revisão contínua e revisão periódica, além do estoque de segurança. As informações necessárias são dadas nas Tabela 8 a Tabela 11.

D	S	h	C
2730	1500	20%	1700

**Tabela 8.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 1

**Fonte:** elaborada pelos autores.

D	S	h	C
2730	1900	22%	2200

**Tabela 9.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 2

**Fonte:** elaborada pelos autores.

D	S	h	C
2730	3000	25%	3500

**Tabela 10.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 3

**Fonte:** elaborada pelos autores.

D	S	h	C
2730	3200	28%	4000

**Tabela 11.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 4

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Assim, os cálculos forneceram  $Q' = 155,2$  paletes do produto 1,  $Q'' = 146,4$  paletes do produto 2,  $Q''' = 136,8$  paletes do produto 3 e  $Q'''' = 124,9$  paletes do produto 4. A Tabela 12 fornece os valores para cálculo do estoque de segurança e ROP dos quatro produtos.

Q	Z	ddlt	ES	ROP
155,2	1,04	42,55	44,08	$105+44 = 149$
146,4	1,28	42,55	54,55	$105+55 = 160$
136,8	1,65	42,55	69,99	$105+70 = 175$
124,9	1,28	42,55	54,55	$105+55 = 160$

**Tabela 12.** Dados para cálculo do ES e ROP

**Fonte:** elaborada pelos autores.

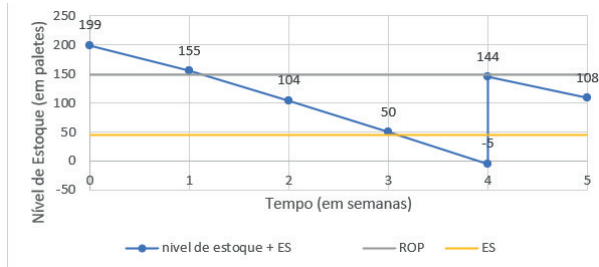
A simulação da dinâmica do nível de estoque para o produto 1 é dado pela Tabela 13 a seguir. O estoque inicial do produto 1 nesta simulação é de 199 paletes na semana 0. A demanda semanal deste produto é determinada pela soma de 14 dados, um dado para representar a demanda de cada cliente.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	199	149	44
1	155	149	44
2	104	149	44
3	50	149	44
4	144	149	44
5	108	149	44

**Tabela 13.** Dinâmica do nível de estoque do produto 1.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Figura 9 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 1 utilizando o modelo de revisão contínua.



**Figura 9.** Nível de estoque do produto 1 - revisão contínua

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Tabela 14 a seguir mostra a simulação da demanda para o produto 2. O estoque inicial do produto 2 nesta simulação é de 201 paletes na semana 0. A demanda semanal do produto é determinada pela soma de 14 dados.

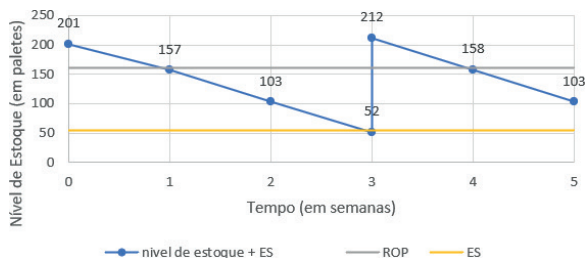
Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	201	160	55
1	157	160	55
2	103	160	55
3	212	160	55
4	158	160	55
5	103	160	55

**Tabela 14.** Dinâmica do nível de estoque do produto 2.

**Fonte:** elaborada pelos autores

A Figura 10 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 2 utilizando o modelo de revisão contínua.

Já a Tabela 15 a seguir mostra a simulação da demanda para o produto 3. O estoque inicial do produto 3 nesta simulação é de 207 paletes na semana 0. A demanda semanal do produto é determinada pela soma de 14 dados.



**Figura 10.** Nível de estoque do produto 2 - revisão contínua

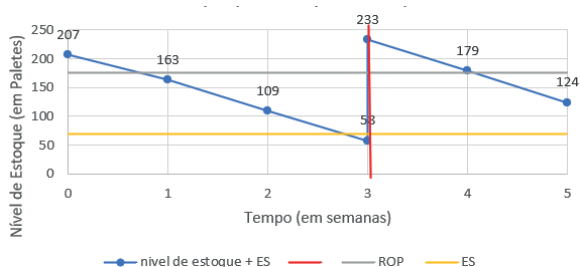
**Fonte:** elaborada pelos autores.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	207	175	70
1	163	175	70
2	109	175	70
3	233	175	70
4	179	175	70
5	124	175	70

**Tabela 15.** Dinâmica do nível de estoque do produto 3

**Fonte:** elaborada pelos autores

A Figura 11 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 3 utilizando o modelo de revisão periódica.



**Figura 11.** Nível de estoque do produto 3 - revisão periódica

**Fonte:** elaborada pelos autores

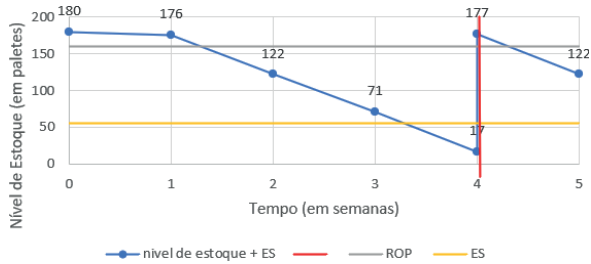
A Tabela 16 mostra a simulação da demanda para o produto 4, que parte do estoque inicial de 180 paletes na semana 0.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	180	160	55
1	176	160	55
2	122	160	55
3	71	160	55
4	177	160	55
5	122	160	55

**Tabela 16.** Dinâmica do nível de estoque do produto 4

**Fonte:** elaborada pelos autores.

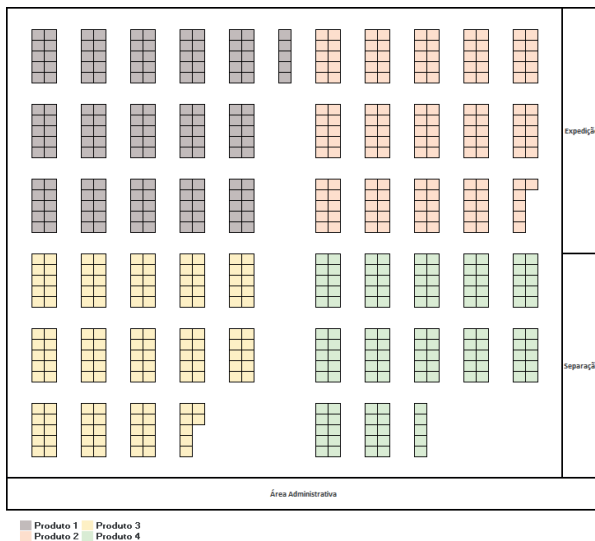
A Figura 12 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 4 utilizando o modelo de revisão periódica.



**Figura 12.** Nível de estoque do produto 4 - revisão periódica

**Fonte:** elaborada pelos autores

O dimensionamento de Armazém é determinado a partir da necessidade de cada produto, dado pela soma do tamanho do lote com o estoque de segurança. A Figura 13 exhibe o projeto do armazém desta terceira simulação.



**Figura 13.** Layout do Armazém

**Fonte:** elaborada pelos autores.

## Simulação 4

Nesta quarta simulação, a base foi de 20 clientes, 4 produtos, 2 fornecedores. O cálculo de dimensionamento do estoque foi feito pela fórmula do lote econômico (Q), somando o estoque de segurança e considerando a situação onde há desconto por quantidade para ambos os produtos. As informações necessárias para tal são dadas nas Tabela 17 a Tabela 20.

D	S	h	C
3640	1500	20%	1700

**Tabela 17.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 1

**Fonte:** elaborada pelos autores

D	S	h	C
3640	1900	22%	2200

**Tabela 18.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 2

**Fonte:** elaborada pelos autores.

D	S	h	C
3640	3000	25%	3500

**Tabela 19.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 3

**Fonte:** elaborada pelos autores.

D	S	h	C
3640	3200	28%	4000

**Tabela 20.** Dados para cálculo do Lote Ideal Q do produto 4

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Assim, os cálculos forneceram  $Q' = 179,2$  paletes do produto 1,  $Q'' = 169,1$  paletes do produto 2,  $Q''' = 158,0$  paletes do produto 3 e  $Q'''' = 144,2$  paletes do produto 4. A tabela 21 fornece os valores para cálculo do estoque de segurança e ROP dos quatro produtos.

Q	Z	ddl	ES	ROP
179,2	1,04	42,55	44,08	$140+44 = 184$
169,1	1,28	42,55	54,55	$140+55 = 195$
158,0	1,65	42,55	69,99	$140+70 = 210$
144,2	1,28	42,55	54,55	$140+55 = 195$

**Tabela 21.** Dados para cálculo do ES e ROP

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Tabela 22 mostra a simulação da demanda para o produto 1, que parte do estoque inicial de 224 paletes na semana 0.

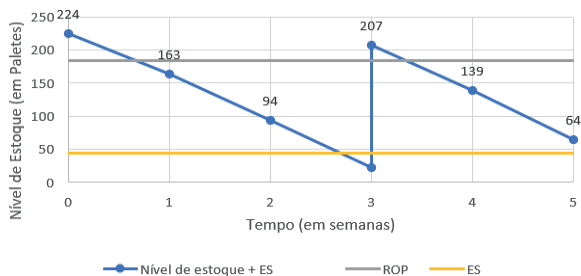


Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	224	184	44
1	163	184	44
2	94	184	44
3	207	184	44
4	139	184	44
5	64	184	44

**Tabela 22.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido do Produto 1.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Figura 14 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 1.



**Figura 14.** Nível de Estoque do Produto 1

**Fonte:** elaborada pelos autores.

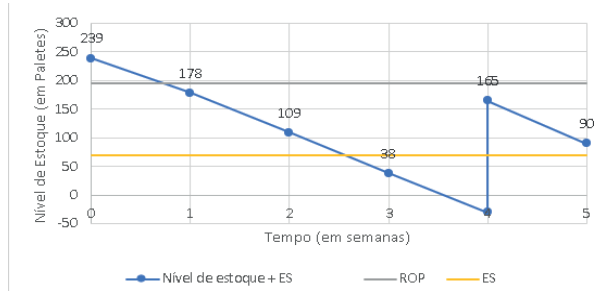
A Tabela 23 mostra a simulação da demanda para o produto 2, que parte do estoque inicial de 239 paletes na semana 0.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	239	195	70
1	178	195	70
2	109	195	70
3	38	195	70
4	165	195	70
5	90	195	70

**Tabela 23.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido do Produto 2.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Figura 15 exibe a dinâmica do estoque para o produto 1.



**Figura 15.** Gráfico de Nível de Estoque do Produto 2

**Fonte:** elaborada pelos autores

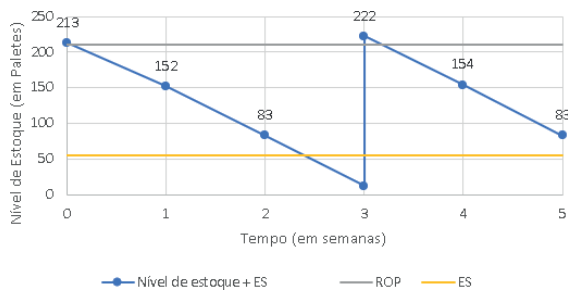
A Tabela 24 mostra a simulação da demanda para o produto 3, que parte do estoque inicial de 213 paletes na semana 0.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	213	210	55
1	152	210	55
2	83	210	55
3	222	210	55
4	154	210	55
5	83	210	55

**Tabela 24.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido do Produto 3.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

A Figura 16 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 3.



**Figura 16.** Nível de Estoque do Produto 3

**Fonte:** elaborada pelos autores.

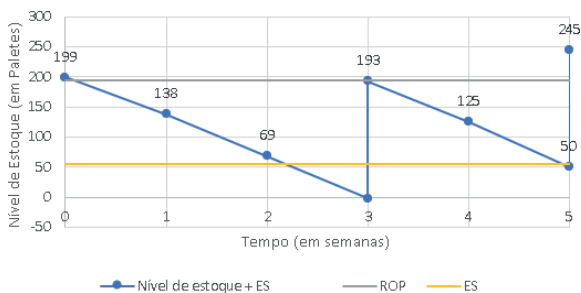
A Tabela 25 mostra a simulação da demanda para o produto 4, que parte do estoque inicial de 199 paletes na semana 0.

Tempo	Nível de estoque + ES	ROP	ES
0	199	195	55
1	138	195	55
2	69	195	55
3	193	195	55
4	125	195	55
5	245	195	55

**Tabela 25.** Dados de Tempo, Nível de Estoque e Pedido do Produto 4.

**Fonte:** elaborada pelos autores.

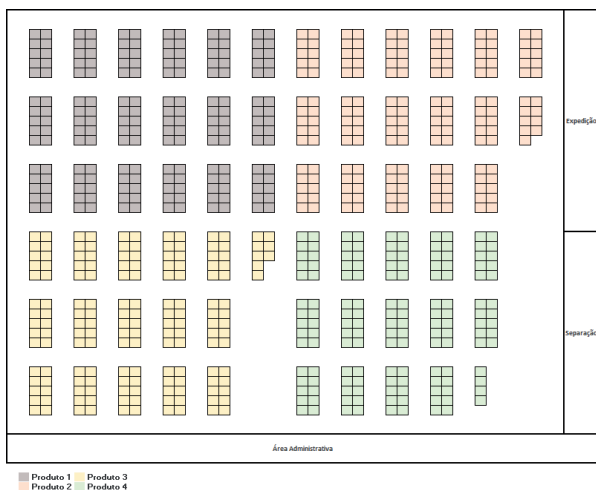
A Figura 17 exibe o gráfico da dinâmica do nível de estoque para o produto 4.



**Figura 17.** Gráfico de Nível de Estoque do Produto 4

**Fonte:** elaborada pelos autores

O dimensionamento de armazém para a simulação 4 resultou no layout de armazém apresentado pela figura 18 a seguir.



**Figura 19.** Layout do Armazém

**Fonte:** elaborada pelos autores.

Para esta quarta simulação também foi experimentado a utilização do modelo de lote econômico com pedido conjunto, mas que não gerou resultados satisfatórios porque a demanda dos produtos é idêntica e as variações no preço, custo de pedido e custo de armazenagem são pequenas.

## 4 | DISCUSSÃO

Foram aplicados os principais métodos relacionados ao dimensionamento de estoque e armazém, e o LabLog se mostrou parcialmente adequado, contendo a maioria das informações requeridas, mas não todas.

A aplicação do modelo de lote econômico simples é feita com muita facilidade, os dados são fáceis de serem encontrados ou determinados, e não houve nenhuma dificuldade em fazer a primeira simulação, bem como no dimensionamento dos armazéns.

Já na aplicação do estoque de segurança as informações estão disponíveis, porém de forma confusa, sobretudo em relação as unidades de variação da demanda e do *leadtime* de entrega. O dimensionamento do armazém extrapolou o espaço destinado no tabuleiro e é preciso recorrer ao empilhamento para se fazer o leiaute do armazém no espaço destinado.

Na terceira simulação, o cálculo dos modelos de revisão contínua e revisão periódica foi feito sem dificuldade. O dimensionamento do armazém também extrapolou, em muito, o espaço do tabuleiro destinado a esta tarefa.

A aplicação do modelo de lote econômico com desconto por quantidade não possui informação do desconto, que foi arbitrariamente definida para aplicar o modelo, bem como não há divisão do custo fixo de pedido para lidar com o modelo de pedido conjunto.

Por fim, na última simulação, foi necessário estabelecer um desconto para quantidades maiores de pedido, pois o LabLog não prevê esta situação. Seria interessante incluir informações que permitissem o desconto por quantidade, tanto para o caso do desconto total como no caso de desconto marginal.

De forma geral, o LabLog permite simular a aplicação dos principais modelos de gestão de estoques e pode contribuir de forma valiosa para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem destes assuntos.

A análise do dimensionamento de armazém destacou como a disposição do estoque afeta a eficiência das operações, otimizando o espaço, minimizando distâncias percorridas e melhorando a acessibilidade. A representação visual dos layouts evidenciou a importância do planejamento adequado na gestão eficaz dos produtos armazenados.

O Lablog também permite simular outras formas de leiaute, como o bloqueio, e fazer questionamentos importantes sobre endereçamento de produto, dimensionamento de área de recebimento, expedição, uso de tecnologias de movimentação, entre outros.

A influência das variáveis, como demanda, estoque de segurança, lead time e políticas de revisão, foi discutida em relação aos resultados obtidos. A complexidade de ajustar essas variáveis para equilibrar custo e disponibilidade foi enfatizada, demonstrando como pequenas variações podem ter impactos significativos nos resultados.

Quanto à aplicação do LabLog, destaca-se seu papel na promoção da aprendizagem ativa e prática na logística. Através da simulação de desafios reais, que são mais bem recepcionados e faz aumentar o engajamento dos participantes que puderam vivenciar situações do mundo empresarial, preparando-os para tomar decisões complexas.

O LabLog também propicia uma visão holística para da logística, desenvolvendo uma visões mais orgânica e enxergando melhor as variáveis interdependentes existentes no planejamento de um sistema logístico.

## 5 | CONCLUSÃO

Este estudo conclui que a utilização do LabLog como um laboratório de simulação física em logística contribui de maneira positiva no processo de ensino aprendizagem.

As principais técnicas de planejamento de estoques que são abordadas em cursos de logística estão previstas no LabLog, e com pouco esforço de melhoria, novas informações podem ser incluídas de forma a aumentar muito o leque de modelos de gestão de estoques tratadas no LabLog.

Já o espaço para o armazenamento se mostrou pequeno para bases de clientes maiores, com apenas 10 clientes e 2 produtos, o espaço já não foi mais suficiente. É preciso parametrizar o empilhamento do produto para fazer o espaço ser suficiente. Também faltam informações sobre dimensionamento da área de recebimento e da expedição.

De toda forma, o LabLog se destaca como uma ferramenta de aprendizagem valiosa, proporcionando experiências imersivas e promovendo aprendizado ativo. Através de simulações realistas, o jogo prepara os alunos de forma holística para enfrentar desafios logísticos reais, enquanto incorpora práticas sustentáveis em linha com demandas contemporâneas. Esta abordagem prática complementa conceitos teóricos e equipa futuros profissionais para os desafios em constante evolução na área.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a bolsa de iniciação científica modalidade FAPIC recebida pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas para realizar este projeto de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] Waters, Donald. Supply Chain Management: An Introduction to Logistics. Reino Unido, Bloomsbury Publishing, 2019.
- [2] Akdeniz, Can. Logistics Management. Ed. IntroBooks, 2018.
- [3] Georges, Marcos Ricardo Rosa; Seydell, Maria Rachel Russo. Dificuldades no ensino da logística. In: V CONVIBRA—Congresso Virtual Brasileiro de Administração. 2008.
- [4] Piaget, Jean. O nascimento da inteligência na criança. 4ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1973.
- [5] Georges, Marcos Ricardo Rosa. O jogo da logística. Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, v. 12, 2009.
- [6] Georges, Marcos Ricardo Rosa. O Jogo da Logística e suas variantes no problema de localização de instalações. Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, v. 13, 2010.
- [7] Marques, Clara Miranda *et al.* Ensino da Logística para Graduação através de um Jogo Sério. In: Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP. Anais...Lorena (SP) EEL-USP, 2022. Disponível em: < <https://www.even3.com.br/anais/saepr2022/499234-ensi-no-da-logistica-para-graduacao-atraves-de-um-jogo-serio/>>.
- [8] Da Silva, G. C., Georges, M. R. R., & Paganelli, M. E. V. LabLog: Aplicação do Método da Varredura e das Economias para Definir a Roteirização de Entregas Ótima. 2021.
- [9] Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP). CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Disponível em [https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx](https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx) Acessado em 02 mar. 2023.
- [10] David B. Grant Gestão de logística e cadeia de suprimentos. N.p., Saraiva Educação S.A., 2017.
- [11] Accioly, F., Ayres, A. D. P. S., Miranda, A., & Sucupira, C. (2019). Gestão de estoques. Editora FGV.
- [12] Bertaglia, P. R. Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento. 4ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2020.
- [13] Santoro, Miguel Cezar, and Gilberto Freire. "Análise comparativa entre modelos de estoque." Production 18 (2008): 89-98.
- [14] Chopra, Sunil, and Peter Meindl. Supply chain management. Strategy, planning & operation. Gabler, 2007.
- [15] Neto, Fernando Gorni. Gestão de Suprimentos e Logística. Brasil, Freitas Bastos, 2022.
- [16] Garcia, Eduardo Saggioro; Reis, Leticia Mattos Tavares Valente Dos; Machado, Leonardo Rodrigues; Filho, Virgílio José Martins Ferreira. Gestão de estoques: Otimizando a logística e a cadeia de suprimentos. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 2006.

[17] Jesus, P. A. S.; Torres, J. B. Método de análise da maturidade do processo de armazenagem em centros de distribuição de supermercados em Fortaleza-CE: um estudo multicaseos. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 9, nº 4, out-dez/2014, p. 107-123.

[18] Ballou, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. 5ª Edição; tradução Raul Rubenich. Porto Alegre. Ed. Bookman, 2009.

[19] Oliveira, D. L. L. *et al.*. Vantagens e limitações do Serious Games no ensino da enfermagem: potencial no contexto pós-COVID-19. Global Academic Nursing Journal, [S. l.], v. 2, n. 2, p. e145, 2021. DOI: 10.5935/2675-5602.20200145. Disponível em: <https://www.globalacademicnursing.com/index.php/globalcadnurs/article/view/233>. Acesso em: 1 set. 2023.

# USO DA CÚRCUMA LONGA EM FORMULAÇÕES COSMÉTICAS FOTOPROTETORAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

---

Data de submissão: 08/01/2025

Data de aceite: 05/03/2025

### **Isabela Oliveira do Nascimento**

Graduação em Engenharia Química,  
Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa-PB, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/7313364179183668>

### **Alex Silvino Barata Lopes**

Graduação em Engenharia de Materiais,  
Universidade Federal da Paraíba,  
João Pessoa-PB, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1278514251937177>

### **Débora Borges Nobre**

Graduação em Engenharia Química,  
Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa-PB, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/4844958991335936>

### **Itamara Farias Leite**

Departamento de Engenharia de  
Materiais, Universidade Federal da  
Paraíba  
João Pessoa-PB, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/3355222757051946>

**RESUMO:** Atualmente, observa-se um aumento significativo nos casos de câncer de pele no Brasil, representando aproximadamente um terço dos casos totais de câncer. Uma estratégia

preventiva amplamente reconhecida para essa patologia é a aplicação regular de protetores solares, visando retardar o envelhecimento cutâneo e mitigar o risco de desenvolvimento do câncer de pele. Os componentes predominantes nesses produtos são os filtros sintéticos, responsáveis por estabelecer uma barreira protetora contra a radiação ultravioleta. Com o intuito de explorar alternativas sustentáveis para a formulação cosmética de protetores solares, a comunidade científica empreende esforços em pesquisas, visando avaliar a eficácia do uso de filtros naturais, exemplificado pela *Curcuma Longa*, como uma opção natural, segura e viável para substituir os filtros sintéticos. Essa abordagem visa destacar as potencialidades das substâncias provenientes da biodiversidade brasileira, as quais possuem propriedades fotoprotetoras e antioxidantes intrínsecas, de extrema importância para compor as formulações cosméticas fotoprotetoras. Este artigo se configura como uma revisão exploratória e integrativa, tendo como foco investigativo principal a utilização da *Curcuma longa*, notadamente a curcumina, em formulações cosméticas com ação fotoprotetora. A coleta de dados foi conduzida mediante pesquisas



em bases eletrônicas renomadas, como Google Acadêmico, Science Direct, Scopus, Pubmed e SciELO. Os estudos examinados abrangem o período entre 2011 e 2024, proporcionando uma visão abrangente dos aspectos mais relevantes em relação ao desenvolvimento científico nessa área específica.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Curcuma longa*, filtros naturais, antioxidante, fotoproteção.

## USE OF TURMERIC IN PHOTOPROTECTIVE COSMETIC FORMULATIONS: AN INTEGRATIVE REVIEW

**ABSTRACT:** Currently, there has been a significant increase in cases of skin cancer in Brazil, accounting for approximately one third of all cancer cases. A widely recognized preventive strategy for this pathology is the regular application of sunscreens, aiming to delay skin aging and mitigate the risk of developing skin cancer. The predominant components in these products are synthetic filters, responsible for establishing a protective barrier against ultraviolet radiation. In order to explore sustainable alternatives for the formulation of cosmetic sunscreens, the scientific community is undertaking research efforts to evaluate the effectiveness of the use of natural filters, exemplified by *Curcuma Longa*, as a natural, safe and viable option to replace synthetic filters. This approach aims to highlight the potential of substances from Brazilian biodiversity, which have intrinsic photoprotective and antioxidant properties, of extreme importance for composing photoprotective cosmetic formulations. This article is an exploratory and integrative review, with the main research focus on the use of *Curcuma longa*, particularly curcumin, in cosmetic formulations with photoprotective action. Data collection was conducted through research in renowned electronic databases, such as Google Scholar, Science Direct, Scopus, Pubmed and SciELO. The studies examined cover the period between 2011 and 2024, providing a comprehensive view of the most relevant aspects regarding scientific development in this specific area.

**KEYWORDS:** *Curcuma longa*, natural filters, antioxidant, photoprotection.

### 1 | INTRODUÇÃO

Os filtros de radiação UV são substâncias introduzidas nas formulações fotoprotetoras responsáveis pela proteção contra as radiações solares. Estes podem ser classificados em dois principais grupos: os filtros inorgânicos, que agem refletindo as radiações solares, como o óxido de zinco (ZnO) e dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>); e os filtros orgânicos, como os p-aminobenzoatos (PABA) e os derivados da benzofenona, que absorvem a radiação UV e permitem a transmissão da luz visível (Juang LJ, Wang BS, Tai HM, Hung WJ, Huang MH., 2008) (Murtinho DMB, Serra MES, Pineiro M., 2010).

As radiações ultravioletas geram espécies reativas de oxigênio, que prejudicam a pele, levando ao fotoenvelhecimento, o que resulta em alteração na estrutura da pele, causando rugas, aspereza, aparecimento de linhas finas e falta de elasticidade (Saraf S, Kaur CD., 2010).

Compostos naturais de plantas que são filtros UV seguros e eficazes são ingredientes potenciais de proteção solar. Eles têm maior assimilação dos raios UV e capacidades antioxidantes quando comparados aos produtos sintéticos (Li, Hailun., *et al.*, 2021).

Dessa forma, a química de produtos naturais, especialmente a fitoquímica, através do isolamento e determinação das suas estruturas químicas e adotando para tanto os métodos cromatográficos e espectroscópicos, respectivamente, vislumbra o conhecimento dos metabólitos secundários das espécies vegetais (SIMÕES *et al.*, 2017; SARAIVA, *et al.*, 2018).

Compostos naturais de ervas, como ácidos fenólicos, flavonoides e polifenóis de alto peso molecular, são muito úteis para a prevenção dos efeitos adversos da radiação UV na pele, evitando a geração de radicais livres de oxigênio e a peroxidação lipídica (Kaur CD, Saraf S., 2011).

A curcumina é o principal curcuminóide produzido a partir da popular especiaria indiana cúrcuma (*Curcuma longa* L.), um membro da família do gengibre (Akaberi M., Sahebkar A., Emami SA., 2021) (Sharifi-Ra J., *et al.*, 2020). Quimicamente, a molécula contém dois anéis fenólicos conectados por um ligante de sete carbonos, que é responsável pelas propriedades antioxidantes da curcumina. Grupos metoxi são anexados aos anéis, o que contribui para a solubilidade do composto e influencia sua reatividade geral (Selma Beganovic, Christoph Wittmann, 2024).

Além da curcumina, principal constituinte da *C. longa*, outros curcuminóides como a bisdemetoxicurcumina, desmetoxicurcumina e ciclocurcumina podem ser encontrados, só que em menor proporção. Esses metabólitos secundários conferem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias importantes (Dini, I., Izzo, L., Graziani, G., Ritieni, A., 2021).

Esses compostos são capazes de eliminar radicais hidroxilados e ânions superóxido, quelar metais pesados, aumentar os níveis de glutatona e estabilizar a glutatona peroxidase e a glutatona S-transferase e a superóxido-dismutase (Kohli, K., Ali, J., Ansari, M. J., Raheman, Z., 2005).

Desde então, foi demonstrado que os curcuminóides exibem amplo espectro de propriedades biológicas como anti-inflamatórias, antimicrobianas, antioxidantes, antineoplásicas e até mesmo potencial para melhorar doenças mentais. Na fitoterapia ocidental, a cúrcuma é usada principalmente como um agente anti-inflamatório (Signh Khasla KP., Tierra M., 2008; Skenderi G., 2003).

Os radicais hidroxilados têm um papel significativo no fotoenvelhecimento da pele. Eles diminuem a transcrição do gene do colágeno e a superexpressão de enzimas que interrompe o colágeno e a síntese de colágeno (Parrado, C., Mascaraque, M., Gilaberte, Y., Juarranz, A., Gonzalez, S., 2016). A fotoproteção é uma estratégia de saúde preventiva para diminuir os efeitos nocivos à pele.

A curcumina recebeu o status geralmente considerado seguro (GRAS) da *Food and Drug Administration* dos Estados Unidos e é usada em várias aplicações nas indústrias alimentícia, médica e cosmética. Esforços extensivos de pesquisa nos últimos anos levaram a um tremendo crescimento em termos de aplicações de mercado e valor comercial da curcumina (Selma Beganovic, Christoph Wittmann, 2024).

Atualmente, o mercado brasileiro de dermocosméticos, onde se encontra as formulações fotoprotetoras, foi aquecido nos últimos anos pelo emprego de produtos de origem natural (ABIHPEC, 2019).

A ideia desse mercado é rejeitar os produtos sintéticos geralmente encontrados nos produtos cosméticos, e substituí-los com ingredientes naturais, veganos e orgânicos, extraídos de forma sustentável da natureza. Um levantamento de 2021 feito pela Nielsen mostram que os produtos considerados limpos (aqueles que são livres de parabenos, sulfatos, ftalatos, corantes e fragrâncias artificiais, +600 outros ingredientes) movimentaram US\$ 406 milhões nos Estados Unidos, crescimento de 8,1%. O levantamento também mostra que os consumidores estão investindo cada vez mais em tendências de beleza sustentável. Segundo os entrevistados, os atributos mais importantes para aqueles que compram produtos de beleza e cuidados pessoais são aqueles que usam ingredientes naturais (40,2%), respeitam o meio-ambiente (17,6%) e usam produtos reutilizáveis e embalagens recicláveis (7,9% e 15,8%, respectivamente) (ABIHPEC, 2022).

Com isso, a cada dia, a busca por produtos que tenham propriedades de origem natural vem crescendo em todo o mundo e, sendo o Brasil um país de vasta biodiversidade, torna-se cada vez mais possível a utilização de extratos obtidos de plantas medicinais que apresentam metabólitos ativos capazes de proteger a pele de fatores extrínsecos. Dessa forma, tem-se realizado a incorporação desses ativos em produtos cosméticos para maximizar os resultados e estabelecer uma gama de opções no que se refere à proteção solar dos indivíduos (SOUSA *et al*, 2020).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A seguinte revisão bibliográfica teve o objetivo de pesquisar os conceitos básicos da cúrcuma, sua composição, o uso do bioativo em formulações fotoprotetoras. A pesquisa em foco possui um caráter integrativo e exploratório, obtendo informações importantes para o desenvolvimento da pesquisa de iniciação científica. Essa metodologia tem o propósito de reunir de forma sistemática, ampla e organizada os resultados de pesquisas relacionadas a um tema específico.

Primeiramente, os artigos foram selecionados para uma análise geral, utilizando critérios do uso da cúrcuma e sua ação fotoprotetora. Após a seleção prévia, os artigos foram lidos integralmente de modo a avaliar sua pertinência em relação ao tema e aos critérios de inclusão previamente estabelecidos.

A pesquisa bibliográfica ocorreu no período de 2011 a 2024. Essa pesquisa foi conduzida nos sites de consultas acadêmicas da *Science Direct*, *Scopus*, *SciELO*, *Google Acadêmico* e *Pubmed*, sendo utilizados os seguintes descritores para pesquisa: cúrcuma, fotoproteção e bioativos em português, inglês e espanhol.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica abrangeu a leitura de 25 artigos, os quais compuseram o conteúdo da pesquisa. Todos com temas envolvendo os descritos citados acima.

Assim como a revisão integrativa utilizada para a construção dessa análise, as informações extraídas dos artigos também foram apresentadas em um quadro informativo.

No quadro abaixo, organizou-se o autor, título do trabalho, dados da pesquisa e os resultados obtidos do total de 25 artigos usados como base de estudo.

Autor	Título do Trabalho	Dados da Pesquisa	Resultados Obtidos
Kaur, C.D., Saraf, S. (2011).	Topical vesicular formulations of Curcuma longa extract on recuperating the ultraviolet radiation-damaged skin. <i>Journal of Cosmetic Dermatology</i>	O objetivo deste estudo foi formular cremes contendo novos sistemas vesiculares (lipossomas, etossomas e transferssomas) carregados com extrato de <i>Curcuma longa</i> e estudar seu efeito fotoprotetor por meio da avaliação da hidratação da pele e do conteúdo de sebo. Os lipossomas, etossomas e transferssomas carregados com extrato alcoólico de <i>C. longa</i> contendo 0,5– 2,0% m/m de extrato foram preparados, avaliados quanto ao tamanho de vesículas, eficiência de encapsulamento dos extratos incorporados ao creme. Sua interação a longo prazo com a pele (6 semanas) foi comparada em termos de seus efeitos relacionados à hidratação da pele e ao conteúdo de sebo.	O tamanho vesicular obtido estava na faixa de $167,3 \pm 3,0$ a $262,4 \pm 2,4$ nm com baixo índice de polidispersão (0,2–0,3) e alta eficiência de encapsulamento. A eficácia dos cremes seguiu a seguinte ordem: Cremes transferssomal carregados com extrato de <i>C. longa</i> > Cremes etossomal carregados com extrato de <i>C. longa</i> > Cremes lipossomais carregados com extrato de <i>C. longa</i> > Creme carregado com transferssoma vazio > Creme carregado com etossoma vazio > Creme carregado com lipossoma vazio > Creme base. As propriedades fotoprotetoras dos constituintes do extrato de <i>C. longa</i> e hidrante, componentes lipídicos hidratantes de nanovesículas com melhor penetração na pele resultaram em melhora nas propriedades da pele, como hidratação da pele e conteúdo de sebo. As nanovesículas carregadas de extrato de ervas incorporadas no creme podem ser usadas como formulações fotoprotetoras.
Vaughn AR., Branum A., Sivamani RK. (2016).	Effects of Turmeric ( <i>Curcuma longa</i> ) on Skin Health: A Systematic Review of the Clinical Evidence	Esta revisão sistemática foi conduzida para examinar as evidências do uso de cúrcuma/curcumina tópica e ingerida para modular a saúde e a função da pele. Os bancos de dados PubMed e Embase foram sistematicamente pesquisados em busca de estudos clínicos, envolvendo humanos que examinaram a relação entre produtos contendo cúrcuma, curcumina e a saúde da pele. Um total de 234 artigos foram descobertos, e um total de 18 estudos atenderam aos critérios de inclusão.	Nove estudos avaliaram os efeitos da ingestão, oito estudos avaliaram os efeitos da aplicação tópica e um estudo avaliou ambos os efeitos da ingestão e aplicação tópica da cúrcuma/curcumina. As condições de pele examinadas incluem acne, alopecia, dermatite atópica, fotoenvelhecimento facial, líquen plano oral, prurido, psoríase, radio dermatite e vitiligo. Dez estudos observaram melhora estatisticamente significativa na gravidade da doença de pele nos grupos de tratamento com cúrcuma/curcumina em comparação com os grupos de controle. No geral, há evidências iniciais de que os produtos e suplementos de cúrcuma/curcumina, tanto orais quanto tópicos, podem fornecer benefícios terapêuticos para a saúde da pele. No entanto, os estudos publicados atualmente são limitados e estudos adicionais serão essenciais para avaliar melhor, a eficácia e os mecanismos envolvidos.

<p>LI, Huaping <i>et al.</i> (2016).</p>	<p>Protective Effect of Curcumin Against Acute Ultraviolet B Irradiation Induced Photo-damage</p>	<p>A curcumina, uma especiaria amarela derivada de rizomas secos de <i>Curcuma longa</i>, demonstrou possuir efeitos antiinflamatórios, antioxidantes, anticarcinogênicos, antimutagênicos, anticoagulantes e anti-infecciosos significativos. No entanto, os efeitos protetores da curcumina contra fotodanos agudos são pouco compreendidos. Neste estudo, foram investigados os efeitos fotoprotetores da curcumina contra fotodanos agudos induzidos por UVB em camundongos sem pelos e queratinócitos humanos imortalizados.</p> <p>Para aplicação tópica, 2 mg/mL de curcumina foram preparados em 0,5% de CMC-Na. Para o tratamento de células HaCaT, a curcumina foi preparada em dimetil sulfoxido (DMSO) na concentração de 10 mM. Os principais anticorpos usados na pesquisa foram anti-Nrf2 (sc-722), anti-lamina A (sc-20680), e o antiGAPDH (MAB374). E como anticorpo secundário conjugado foi usado o anti-IgG-HRP.</p> <p>As células HaCaT foram cultivadas em Meio Eagle modificado por Dulbecco (DMEM) suplementado com 10% soro fetal de vitelo e penicilina/estreptomicina a 1%. Para irradiação UVB, após lavagem duas vezes com solução salina tamponada com fosfato (PBS), as células foram irradiadas com uma fina cobertura de PBS (0,4 mL em frasco de 6 poços) para evitar o ressecamento, utilizando lâmpada UVB-TL/12 que emitem luz UVB na faixa de 280–320 nm com pico de emissão em 297 nm. A irradiação foi monitorada com um dosímetro UV. As células não irradiadas foram recobertas com papel alumínio para evitar a exposição e usadas como controle de fundo. Após irradiação UVB, o PBS foi removido e as células foram incubadas em meio fresco por um período de tempo de 6–24 h.</p>	<p>Observou-se um retardo significativo no início do tumor e diminuição da multiplicidade em camundongos tratados com curcumina. Neste estudo, os resultados demonstraram que a aplicação tópica de curto prazo da curcumina emulsionada protegeu contra inflamação aguda induzida por radiação UVB e danos associados ao fotoenvelhecimento na pele de camundongos sem qualquer efeito adverso. O efeito fotoprotetor provocado pela curcumina foi associado à manutenção de defesas antioxidantes e inibição de danos oxidativos induzidos por UVB.</p>
--	---	--	---

<p>SATRIAWAN, Anastasia Bakkara I. Ketut; MULYANI, Sri. (2017).</p>	<p>Stability of Emulsion Cream Extract Turmeric (<i>Curcuma domestica</i> Val.) in Various Concentration.</p>	<p>Esta pesquisa teve como objetivo: 1) determinar a estabilidade da emulsão creme de extratos de cúrcuma (<i>Curcuma domestica</i> Val.) em diversas concentrações, 2) determinar a concentração de extrato que produz a melhor estabilidade da emulsão. Este experimento consistiu em avaliar cinco tratamentos de extrato de cúrcuma nas concentrações: 50 (K1), 75 (K2) 100 (K3), 125 (K4) e 150 (K5) mg / 200 ml de óleo de coco virgem (VCO). Cada tratamento foi estratificado pelo tempo de fabricação dos cremes e cada tratamento foi repetido 3 vezes. As observações foram feitas a cada semana e armazenamento por 5 semanas. Os dados foram analisados graficamente durante o armazenamento. A fórmula do creme de cúrcuma é usada com base em uma porcentagem (massa /massa) com o extrato de cúrcuma de acordo com o tratamento e outros ingredientes, como ácido esteárico, trietanolamina, VCO, óleo mineral, hidratante, condicionador, álcool etílico, metil parabeno, propil parabeno, metabessulfito de sódio, EDTA, água destilada. As variáveis observadas na preparação do creme de cúrcuma foram: homogeneidade, separação do creme, poder dispersivo, adesão, pH, viscosidade e capacidade antioxidante.</p>	<p>Com base nos resultados, pode-se observar que a emulsão cremosa se apresenta estável a uma concentração de 150 mg de extrato de cúrcuma para todas as variáveis, exceto o poder dispersivo e adesivo. Dentre as amostras analisadas, o creme que apresentou as melhores características foi obtido a partir da adição de 75 mg de extrato de cúrcuma, conferindo as seguintes características: pH 7,2, viscosidade 6.400 cPs, capacidade antioxidante 8.334 mg GAEAC/100 g de amostra, homogêneo, sem separação, poder dispersivo 3,93 cm e potência adesiva de 17 s.</p>
<p>DOS SANTOS, Carolina de Mello Souza; DE SOUZA, Priscilla Henriques Groetaers (2017).</p>	<p>Avaliação da atividade fotoprotetora da curcumina</p>	<p>O protetor solar é um cosmético que tem como objetivo principal proteger a pele dos efeitos nocivos da radiação solar. A radiação UVA, por penetrar mais profundamente a pele é geralmente a maior responsável pelo fotoenvelhecimento e carcinogênese, enquanto a radiação UVB é considerada mais eritematosa. Dentre muitos ingredientes naturais estudados para promover o efeito fotoprotetor, o açafreão aparece como um ativo promissor, pois reúne diversas propriedades (filtro químico, antitumoral, antioxidante, anti-inflamatório). Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a ação fotoprotetora do componente majoritário dos rizomas do açafreão, a curcumina. Para tanto foram desenvolvidas loções cremosas fotoprotetoras contendo curcumina (1 e 2%), tanto na forma isolada quanto associada aos filtros químicos octilmetoxicinamato (UVB) e benzofenona-3 (UVA). Tais formulações foram preparadas de acordo com o processo convencional de preparo de emulsões, no qual as fases oleosas (75°C) e aquosa (85°C) foram aquecidas separadamente. Os filtros químicos e/ou curcumina foram solubilizados na fase oleosa e, a seguir, a fase aquosa foi vertida sobre a fase oleosa sob agitação intensa utilizando-se agitador mecânico. Também se realizou análises de espectrofotometria de varredura na região do ultravioleta (290 –400 nm), determinação de FPS, análise de pH e estabilidade preliminar.</p>	<p>A associação da curcumina com os filtros químicos sintéticos octilmetoxicinamato e benzofenona-3 é altamente benéfica, pois resulta em uma formulação que garante uma proteção de amplo espectro (UVA-curto, UVA-longo e UVB), sem alteração significativa no FPS da formulação, além de acumular os demais efeitos farmacológicos da curcumina. A formulação contendo apenas curcumina, apresentou FPS incompatível com a possibilidade de sua comercialização como fotoprotetor, produto multifuncional segundo a Resolução da Agência nacional de Vigilância Sanitária. Em relação à estabilidade preliminar, pH e características organolépticas, todas as formulações mostraram-se adequadas, sendo que a cor característica obtida com a adição de curcumina dispensa o uso de corante, reforça a presença do ativo e ainda confere uma leve coloração à pele (efeito base ou bronzeado).</p>

<p>Cho, B. O., Che, D. N. Shin, J. Y., Kang, H. J., Kim, S. J. Choi, J., Jang, S. I. (2018)</p>	<p>Photoprotective properties of combined extracts from Diospyros lotus leaves and Curcuma longa rhizomes against chronic UVB-induced photodamage.</p>	<p>Esta pesquisa investiga os efeitos sinérgicos dos extratos de ambas as plantas contra o estresse oxidativo crônico induzido por UVB. Os camundongos SHK-1 machos de 5 semanas de idade foram divididos aleatoriamente em seis grupos de cinco camundongos cada. Os camundongos foram anestesiados e expostos a radiações UVB três vezes por semana durante um mês. O tempo de exposição para cada irradiação UVB foi de 3 min e a quantidade total de radiação UVB administrada foi de 2.548,8 mJ. O grau de proteção foi medido usando parâmetros bioquímicos como malondialdeído, glutatona reduzida, superóxido dismutase, catalase, ativação de Akt e atividades do fator nuclear (derivado de eritroide 2) semelhante a 2 (Nrf2), degradação do colágeno.</p>	<p>A aplicação tópica de produtos naturais com alta atividade antioxidante e anti-inflamatória pode melhorar o fotodano induzido por UV. Este estudo descobriu que a administração tópica de DLE, CLE, ou DLE/CLE preveniu danos à pele induzidos por UVB, hiperplasia epidérmica e degradação do colágeno na pele de camundongos SHK-1. A administração tópica de extrato de folha de D. lotus e extrato de C. longa, tanto isoladamente quanto em sinergia, inibe o fotodano induzido por UVB. O estudo indica que a alteração da homeostase redox do tecido da pele de camundongos desempenha um papel na patogênese do dano cutâneo induzido por UVB e sugere o papel protetor sinérgico da folha de D. lotus e dos rizomas de C. longa no tratamento do fotodano induzido por UVB.</p>
<p>RAHMAN, M. et al. 2019.</p>	<p>Low cost home-made turmeric (hydro) gel: Preparation, rheology and prediction of safe period for using.</p>	<p>Um estudo foi realizado para descobrir o período seguro para usar os géis de cúrcuma caseiros mantidos em condições normais em três tipos de formulações personalizadas, nomeadamente F1, F2 e F3. Neste estudo, foi proposta uma preparação econômica de gel de cúrcuma com seu período seguro de uso. F1 foi formulado com conservantes (metil parabeno e propil parabeno na proporção de 1:3), F2 foi formulado com antioxidantes (4 pedaços de comprimidos de vitamina C contendo 250 mg de ácido ascórbico e 6 pedaços de cápsulas de vitamina E, cada um com potência de 200UI). F3 foi formulado sem conservantes e antioxidantes. No estudo, amostras (n=5 de cada formulação) foram investigadas quanto às propriedades físicas, incluindo reatividade da pele por 45 dias, testando em 15 voluntários.</p>	<p>Os resultados mostraram que as preparações não apresentaram nenhuma mudança notável na cor, efeito de toque, granulação e maciez, pegajosidade, capacidade de formação de película e espalhamento, junto com sua capacidade de lavagem em 30 dias. O pH das formulações permaneceu o mesmo ao longo de 45 dias e o pH da amostra F2 foi encontrado abaixo de 5 e, outras 2 formulações foram encontradas com pH de 7,4. No estudo, a sinérese do gel e o inchaço foram investigados. A sinérese é a exsudação de fluido e o inchaço é a absorção de líquido adjacente. Os resultados mostraram que ambos os fenômenos estavam ausentes para F1 e F2; mas uma amostra de F3 mostrou inchaço do gel após 30 dias, embora essa amostra não tenha mostrado sinérese do gel. Quanto à reatividade cutânea, F2 e F3 não mostraram reação; mas F1 sim. Uma amostra de F1 apresentou reação cutânea, 5 minutos após a aplicação. Os testes microbianos foram expressos como 'cfu'/ml a uma diluição de 10<sup>5</sup> e realizadas em F1, F2, F2 (fortificada) e F3. Observe que para as formulações F2 (fortificadas), a quantidade de cada um dos antioxidantes foi duplicada. Os resultados mostram que para F1 'ufc' era muito pouco para contar até um período de 21 dias e além desse período o valor de 'ufc' tornou-se muito a contagem, afirmando que o período seguro de uso desta formulação em casa era de 21 dias. Enquanto para F2, a contagem de 'ufc' estava na faixa de (2,56- 2,70).10<sup>8</sup> até um período de 14 dias e além deste período a contagem tornou-se muito grande para ser contada, afirmando que o período seguro de uso desta formulação em casa era de 14 dias. Por outro lado, F2 (fortificada) apresentou contagem microbiana comparável a F1. Para F2 (fortificado), a contagem de 'cfu' foi (1,75-1,84).10<sup>8</sup> até um período de 21 dias. Além deste período, a contagem tornou-se muito grande para ser contada. Portanto, o período seguro de uso doméstico para F2 (fortificado) foi de 21 dias. No estudo, a preparação da amostra F3, apresentou numerosos crescimentos microbianos, além de dois dias, afirmando que o período seguro de uso em casa foi de apenas 2 dias.</p>

Guimarães, Anabrisa, et al., (2020).	ESSENTIAL OIL OF Curcuma longa L. RHIZOMES CHEMICAL COMPOSITION, YIELD VARIATION AND STABILITY	Este estudo foi realizado para avaliar a variabilidade em porcentagem e a composição química de óleos voláteis de 12 amostras de cúrcuma. Para isso, cerca de 1Kg de cada amostra de rizoma de cúrcuma foi coletado em fevereiro de 2011 de três produtores comerciais na cidade de Jaborandi localizada no bioma do cerrado brasileiro no estado da Bahia. Doze amostras foram coletadas no final da tarde em um período de chuvas ocasionais. Os rizomas foram fatiados, secos a 40 °C por 10 h e armazenados em sacos de papel. As amostras foram depositadas no acervo de drogas vegetais da Universidade Federal do Paraná. Foram realizadas análises de variabilidade de rendimento no óleo essencial, análise do perfil químico do óleo essencial e da curcumina por cromatografia em camada delgada e análise qualitativa e quantitativa por cromatografia gasosa.	O teor médio de óleo foi de 3,97±0,61%, variando de 3,0 a 5,16%. Houve diferenças entre produtores; no entanto, todas as amostras atenderam às especificações da legislação brasileira Farmacopéia. A análise cromatográfica em camada delgada revelou semelhança qualitativa nos componentes do óleo e do curcuminóide entre as amostras. Os principais componentes identificados nos óleos por cromatografia gasosa foram ar-turmerona (40,00% ± 13,20%), $\alpha$ -turmerona (10,05% ± 2,90%) e curlone (22,73% ± 12,72%). Quanto à estabilidade, houve diferença entre os percentuais de óleo essencial após 6 meses, mas o conteúdo manteve-se adequado e o perfil cromatográfico permaneceu semelhante. A matéria-prima vegetal obtidas de rizomas de <i>C. longa</i> produzidos na região oeste do estado da Bahia atenderam aos requisitos de qualidade da legislação brasileira farmacopéia.
ZHENG, Yating et al.(2020).	Antiaging effect of Curcuma longa L. essential oil on ultraviolet-irradiated skin.	O óleo essencial derivado do rizoma da <i>Curcuma longa</i> (CL-EO) possui propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes, antimicrobianas, anticancerígenas e antivirais. No entanto, o seu efeito na pele fotodanificada não foi ainda avaliado. Neste estudo, a atividade anti-fotoenvelhecimento da pele do CL-EO foi determinada através da realização de um ensaio de envelhecimento da pele induzido por ultravioleta B (UVB). O CL-EO foi extraído por hidrodestilação e caracterizado usando cromatografia gasosa acoplada a uma espectrometria de massa. O efeito anti-envelhecimento da pele foi determinado aplicando topicamente 150 $\mu$ l de CL-EO diluído a 1, 5 e 10% com etanol na área dorsal de camundongos nus irradiados com UVB todos os dias, exceto aos domingos, por 8 semanas. Análises histológicas e imuno-histoquímicas foram realizadas. Foram realizadas análises histológicas e imuno-histoquímicas.	No total, 56 compostos foram detectados, representando 94,36% do conteúdo do CL-EO. Os principais compostos em CL-EO foram ar-turmerona (36,04%), curlona (8,78%), $\beta$ -turmerona (7,05%), 8,9-desidro-9- formil-ciclo isolongifoleno (5,69%), $\beta$ -sesquifelandreno (5,39%), germacrona (4,51%), ar-curcumenno (2,19%), $\alpha$ -himacaleno (2,14%) e ledano (2,13%). A coloração com hematoxilina e eosina de cortes de tecido revelou que CL-EO diminuiu a espessura da pele epidérmica. A imuno-histoquímica mostrou que CL-EO inibiu expressão de interleucina-1 $\beta$ e fator de necrose tumoral- $\alpha$ . Assim, CL-EO pode reduzir o fotoenvelhecimento cutâneo em um modelo de camundongo nu irradiado com UVB. Portanto, CL-EO pode ser usado na formulação de produtos cosméticos funcionais e de cuidados com a pele. Portanto, o CL-EO pode ser usado na formulação de produtos para a pele e cosméticos funcionais.
Aguiar and Novelli (2020).	Desenvolvimento de uma formulação cosmética antioxidante e fotoprotetora à base de curcumina	Álcool de cereais 92,8°, glicerina PA, aminometilpropanol 95% (AMP-95), Metil parabeno, Benzofenona-3, Octilmetoxicinamato, Carbômero, EDTA, Curcumina, Vitamina C, DPPH, Alcool etílico 99,5% e Água destilada. O presente trabalho objetivou desenvolver uma formulação cosmética antioxidante e fotoprotetora à base de curcumina. Para tanto, foram preparados cinco géis. Todos continham dois filtros químicos sintéticos (octilmetoxicinamato e benzofenona-3). Além do gel padrão, contendo apenas os filtros, foram feitas associações com curcumina, em diferentes concentrações, e com vitamina C, ambos ativos naturais. Tais formulações foram analisadas em relação à ação fotoprotetora (espectro de absorção no UV, FPS in vitro, taxa UVA/UVB e comprimento de onda crítico), poder antioxidante (DPPH), pH e características organolépticas.	Todas as formulações preparadas podem ser consideradas fotoprotetores em termos de FPS, pois atingiram o FPS mínimo de 6. No entanto, estas não atingiram o $\lambda$ c mínimo de 370 nm exigido pela mesma legislação. Com relação ao objetivo proposto, foi possível desenvolver com sucesso um gel cosmético antioxidante e fotoprotetor contendo 0,5% de curcumina com as seguintes especificações: FPS =11,76; Taxa UVA/UVB = 0,658; $\lambda$ c = 353,3 nm e IC50 = 0,34 $\mu$ g/mL. O uso de curcumina em fotoprotetores segue a tendência mundial do mercado cosmético de usar ingredientes naturais e desenvolver formulações multifuncionais.



<p>Bhalke, R.D., et al.(2020).</p>	<p>A facile approach to fabrication and characterization of novel herbal microemulsion-based UV shielding cream.</p>	<p>O presente estudo tem como foco o desenvolvimento de protetor solar à base de microemulsão contendo fitoconstituintes terapeuticamente ativos como licopeno, <math>\beta</math>-caroteno e curcumina que são reportados por apresentarem propriedades antioxidantes e barreira contra radiação ultravioleta. A preparação de microemulsão ajuda a melhorar a solubilidade e estabilidade do produto final. A triagem de óleos, surfactantes e co-surfactantes foi feita com base em estudos de solubilidade seguidos pela construção de diagramas de fases pseudoternárias, óleo de gergelim, span 80 a tween 80 (surfactante) e álcool isopropílico (co-surfactante) que foram selecionados para estabilizar a microemulsão. Extração, isolamento e estudo de pré-formulação de fitoconstituintes foram realizados. A extração e o isolamento de licopeno de <i>Solanum lycopersicum</i>, <math>\beta</math>-caroteno de <i>Dacus carota</i> e curcumina de <i>Curcuma longa</i> foram realizados por maceração a frio seguida de cromatografia de camada fina. Ponto de fusão, análise espectrofotométrica UV e espectroscopia de FTIR confirmaram a identificação dos fitoconstituintes acima.</p>	<p>Resultados mostram um tamanho médio de glóbulo de 208 nm, condutância 0,935 moh/cm, pH 7,1, potencial Zeta - 17,5 mV, índice de refração 1,002, índice de polidispersibilidade 0,342, percentagem de transmitância 90,68% e viscosidade 82,45 cps. Em um estudo sobre o conteúdo de bioativos, a presença de licopeno, <math>\beta</math>-caroteno e curcumina foi de 87,53, 85,08 e 90,65%, respectivamente. Finalmente, creme protetor solar à base de microemulsão foi preparado e avaliado quanto a vários parâmetros como pH, extrusabilidade, estudo de espalhabilidade e conteúdo de bioativos. O fator de proteção solar (FPS) da microemulsão e do creme foi considerado 36,32 e 37,65, respectivamente. Os dados do estudo de estabilidade mostram melhor estabilidade da formulação final. O teste de irritação da pele foi realizado para verificar a irritação da microemulsão aplicada topicamente, bem como da formulação do creme protetor solar. O PII (Índice de Irritação Primária) quando nenhuma formulação foi aplicada foi 0,166; para microemulsão, foi 0,277; e para o protetor solar, foi encontrado 0,222. Concluiu-se que um sistema de microemulsão estável contendo licopeno, <math>\beta</math>-caroteno e curcumina como fitoconstituintes importantes que possuem propriedades antioxidantes e de proteção à radiação ultravioleta pode ser formulado com sucesso como uma formulação de creme protetor solar.</p>
<p>Li, Hailun., et al.(2021).</p>	<p>Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF).</p>	<p>Comparados aos filtros solares artificiais, os filtros solares naturais com forte capacidade de absorção UV são amplamente limitados pelo baixo valor de extinção específico e pela sua incapacidade de serem espalhados em aplicações cosméticas de filtro solar em larga escala. Esta revisão se concentra em formulações tóxicas antioxidantes naturais com fator de proteção solar (FPS). Lignina, melanina, silimarina e outros ingredientes foram adicionados aos filtros solares naturais de alta proteção solar sem qualquer filtros UV físicos ou químicos. Este documento também fornece uma referência para a adoção de novas medidas técnicas (extração de componentes de alto teor, alteração do tipo de solução, otimização da formulação, aplicação de Nanotecnologia) para projetar e preparar formulações de filtros solares naturais equiparadas aos filtros solares comerciais. Outra estratégia é adicionar antioxidantes naturais de plantas, animais, microorganismos e organismos marinhos. Organismos como ingredientes especiais intensificadores ou modificadores para reforçar os valores do FPS. Embora os efeitos dos componentes naturais tenham sido estabelecidos, seus efeitos colaterais deletérios não foram elucidados.</p>	<p>Em geral, os protetores solares comerciais disponíveis atualmente levantam várias preocupações de biossegurança e poluição ambiental. Além disso, embora os extratos naturais não possam substituir completamente os filtros UV convencionais, eles diminuiriam substancialmente a dependência geral de filtros UV físicos ou químicos. Este estudo fornece uma base sólida sobre <i>status</i> e uso potencial de antioxidantes naturais para filtragem UV. Estudos anteriores documentaram que os componentes naturais exercem efeitos fotoprotetores (como melhora da elasticidade e hidratação da pele, textura da pele e rugas) através de seus efeitos antioxidantes e através da regulação da inflamação da pele induzida por UV, comprometimento da barreira e envelhecimento.</p>

<p>Adusumilli, N.C., Mordorski, B., Nosanchuk, J., Friedman, J.M. and Friedman, A.J. (2021)</p>	<p>Curcumin nanoparticles as a photoprotective adjuvant</p>	<p>Nanopartículas de curcumina foram sintetizadas, e camundongos foram utilizados para testes. 40 camundongos da idade de 10 semanas foram divididos igualmente nos seguintes grupos: não tratado, veículo (óleo de coco), np em branco, curcumina no veículo e curc-np no veículo. Em suma, os respectivos tratamentos tópicos foram aplicados aos grupos correspondentes trinta minutos antes de cada uma das duas doses de irradiação UVB, com intervalo de vinte e quatro horas, a 50 mJ/cm<sup>2</sup>. Foram analisadas: observação clínica, histopatologia e concentrações de citocina. Bem como amostras histológicas coradas usando anticorpos H&amp;E, TUNEL e p53 para visualizar morfologia, apoptose e atividade supressora de tumor e amostras de tecido.</p>	<p>Camundongos pré-tratados com curc-np e então irradiados com UVB clinicamente apresentaram menos eritema, endurecimento e escamação em comparação com os controles, a pontuação de eritema de camundongos tratados com curcumina livre foi significativamente menor do que a do grupo não tratado. O pré-tratamento com curcumina-np diminuiu a apoptose induzida por UVB na pele, evidenciada pelo ensaio TUNEL em histopatologia.</p>
<p>Tiwari, R., Singh, I., Gupta, M., Singh, L. P., &amp; Tiwari, G. (2022).</p>	<p>Formulation and Evaluation of Herbal Sunscreens: An Assessment Towards Skin Protection from Ultraviolet Radiation.</p>	<p>O presente estudo teve como objetivo desenvolver protetores solares herbais contendo cúrcuma, óleo de coco, aloe vera, limão que será eficaz para a pele e protegerá a pele contra raios solares nocivos, queimaduras solares e câncer de pele. Na pesquisa, os protetores solares à base de ervas foram formulados combinando várias ervas com carbopol 934 como base, sendo adicionados os seguintes componentes: aloe vera, cúrcuma, vitamina E e limão. Em seguida, esses protetores solares foram avaliados quanto às características físico-químicas: cor, pH, viscosidade, espalhabilidade, estabilidade térmica, atividade antioxidante <i>in vitro</i>, atividade de mutagenicidade <i>in vitro</i>, oclusão <i>in vitro</i> e estabilidade. Utilizando uma abordagem espectrofotométrica <i>in vitro</i>, a eficiência da proteção solar da loção foi avaliada em termos de FPS.</p>	<p>Protetores solares à base de óleo de coco (F5 e F6) foram considerados estáveis, têm boa atividade antioxidante e altos valores de FPS de 33,43 e 33,50, respectivamente. Esses protetores solares herbais também demonstraram ser não mutagênicos. Pode-se afirmar que o estudo atual levará a melhorias no tratamento de queimaduras solares produzidas pela exposição à radiação UV. O estudo também demonstra que a espectroscopia UV é a abordagem mais eficiente, aceitável e reprodutível para determinar o desempenho de protetores solares fitoterápicos. Por fim, pode-se concluir que as descobertas desse estudo podem ajudar agências reguladoras, organizações científicas e fabricantes a definir formulações padronizadas para protetores solares herbais.</p>
<p>DE JESUS SILVA, Jussara <i>et al</i> (2022).</p>	<p>Desenvolvimento e avaliação fotoprotetora, <i>in vitro</i>, de formulações de mistura curcuminóide e chalconas estruturalmente relacionadas.</p>	<p>O mercado de cosmético passa por uma tendência em empregar filtros solares de origem natural em formulações fotoprotetoras, seja isolado ou como adjuvantes de filtros sintéticos. O açafão-da-terra (<i>Curcuma longa</i>) teve o seu valor medicinal reconhecido pelo SUS no ano de 2009, sendo incluído da RENISUS. Assim, a mistura curcuminóide (MC) foi extraída e modificada para gerar a MCA. As chalconas (CH e CHA) foram planejadas considerando a estrutura molecular do metoxicinamato de otila, um filtro solar comercial, e da MC. Os métodos <i>in vitro</i> de Mansur e Diffey foram usados para determinar o fator de proteção solar (FPS-UVB) e o comprimento de onda crítico (<math>\lambda_c</math>) das formulações contendo os compostos em estudo. Métodos: As formulações foram caracterizadas por colorimétrica, análise cromatográfica, acetilação da mistura curcuminóide, Síntese e caracterização da 1,3-Bis[4-(hidroxi)-3-metoxifenil]-2-propen-1-ona (CH) e da 1,3-Bis[4-(acetoxi)-3-metoxifenil]-2-propen-1-ona (CHA), bem como a determinação do FPS das formulações, comprimento de onda crítico.</p>	<p>Considerando os valores de FPS-UVB e o <math>\lambda</math> apresentado pelos compostos, a CHA é colocada em posição de destaque, visto que apresentou capacidade de proteção da radiação UVB semelhante à OXB associado a um <math>\lambda</math> categoria 3, ou seja, ampla capacidade de fotoproteção UVA. A MCA e a CH, apesar da moderada capacidade de proteção UVB, estes possuem ampla capacidade de fotoproteção, com <math>\lambda</math> categoria 4. Enquanto a mistura curcuminóide, obtida completamente de fonte natural, apresentou menor FPS-UVB, dentre a pequena série analisada, contudo possui amplo <math>\lambda</math> (categoria 4), mostrando-se promissora para compor produtos cosméticos constituídos de ativos de origem natural em associação a outros filtros solares. Assim, MC, MCA, CH e CHA são promissores componentes ativos de formulações cosméticas fotoprotetoras.</p>

<p>DALLA, Evdokia <i>et al.</i> (2022).</p>	<p>Formulation, Characterization and Evaluation of Innovative O/W Emulsions Containing Curcumin Derivatives with Enhanced Antioxidant Properties</p>	<p>No presente estudo, uma série de emulsões semissólidas óleo em água (O/A) contendo diferentes derivados de curcumina (Cur) (pó de Cur, extrato de Cur e Cur complexado com <math>\beta</math>-ciclodextrina) em concentrações variadas foram preparadas. Inicialmente, foram realizadas medidas de espalhamento dinâmico de luz (DLS), microscopia, pH e viscosidade para avaliar sua estabilidade ao longo do tempo. Além disso, foi investigado o efeito das substâncias cosméticas ativas no fator de proteção solar (FPS), propriedades antimicrobianas e antioxidantes das emulsões preparadas. O extrato de Cur e o complexo Cur-<math>\beta</math>-ciclodextrina foram implementados para melhorar a biodisponibilidade, solubilidade e estabilidade do pó de Cur. O comportamento antioxidante, antimicrobiano, FPS e estabilidade de todas as emulsões preparadas foram investigados <i>in vitro</i>, e os resultados das emulsões foram comparados entre si.</p>	<p>Em relação à capacidade de proteção solar, os valores de FPS obtidos variaram entre 2,6 e 3,2, com o maior valor de FPS sendo obtido pela emulsão contendo 2% p/v de p-Cur. O estudo antioxidante das emulsões preparadas demonstrou que todas as emulsões preparadas com Cur e seus derivados exibiram excelente atividade antioxidante associada à existência de polifenóis bioativos na estrutura do Cur. Apesar de as emulsões e-Cur e b-Cur exibirem alta viscosidade e estabilidade de pH, bem como uma atividade antioxidante melhorada, elas apresentaram uma baixa porcentagem de capacidade antimicrobiana contra duas bactérias, <i>E. coli</i> e <i>Staphylococcus</i>. Ao contrário, as emulsões 0,5 e 2% de p-Cur apresentaram uma taxa de redução acima de 90% contra as mesmas colônias de bactérias. Os resultados das propriedades antioxidantes e antimicrobianas também foram aprimorados pela análise e pela quantificação dos compostos fenólicos.</p>
<p>Di Lorenzo, R., Grumetto, L., Sacchi, A., Laneri, S., &amp; Dini, I. (2023)</p>	<p>Dermocosmetic evaluation of a nutraceutical formulation based on Curcuma. Phytotherapy Research,</p>	<p>Os extratos e moléculas isoladas de matrizes alimentares podem ser utilizados para formular cosméticos antienvhecimento "saúdáveis". Duas abordagens cosméticas diferentes podem ser usadas para alcançar o efeito antienvhecimento. É possível utilizar produtos tópicos à base de extrato alimentar (abordagem cosmeceútica) ou tomar um suplemento alimentar e aplicar um tópico produto cosmético à base de extrato alimentar na superfície a ser tratada (abordagem nutraceutical). Este trabalho avaliou <i>in vivo</i> o potencial antienvhecimento de uma formulação nutraceutical (creme + suplemento alimentar) e de um creme cosmeceútico à base de Cúrcuma. A escolha do extrato comercial de Cúrcuma para uso experimental foi baseada no conteúdo de curcuminoides determinado por um teste de HPLC. Curcuminoides são os compostos bioativos responsáveis pela ação antioxidante e anti-inflamatória da cúrcuma. Em seguida, foram determinadas a perda transepidérmica de água, efeito hidratante, a firmeza da pele, elasticidade, índice de colágeno e rugas. Os níveis de extrato de Cúrcuma variam de acordo com a condição de armazenamento, variedade e condições pedoclimáticas de cultivo.</p>	<p>Este trabalho avaliou o potencial antienvhecimento de um produto nutraceutical e de um creme cosmeceútico. Os resultados mostraram que ambas as formulações cosméticas têm efeitos hidratantes, antienvhecimento e antirugas no período de teste. No entanto, os efeitos relacionados ao uso do produto nutraceutical são mais significativos do que aqueles obtidos quando o creme cosmeceútico foi administrado sozinho. Espera-se que mais estudos experimentais sejam conduzidos para estabelecer inequivocamente qual abordagem (nutraceutical ou cosmeceútica) produz os melhores desempenhos cosméticos.</p>

<p>NURHAS-NAWATI, HENNY., <i>et al.</i> (2023).</p>	<p>Study of Curcuma diversity from Central Java, Indonesia for sunscreen and antioxidant activity based on quantitative phytochemical analysis.</p>	<p>A Indonésia é o lugar aonde se tem várias plantas, incluindo as do gênero <i>Cúrcuma</i>. Sabe-se que este rizoma contém metabólitos secundários, como flavonóides e fenóis, que são conhecidos por terem potencial antioxidante e acredita-se que atuem como ingredientes naturais para produtos de proteção solar. As amostras utilizadas neste estudo foram rizomas de cinco espécies de <i>Cúrcuma</i> de Java Central, nomeadamente <i>C. aeruginosa</i>, <i>C. longa</i>, <i>C. mango</i>, <i>C. xanthorrhiza</i> e <i>C. zedoaria</i>. Este estudo teve como objetivo determinar o efeito do conteúdo fenólico total e flavonóides da <i>Cúrcuma</i> na atividade antioxidante e nos valores de FPS, usando a espectrofotometria UV-Vis. Houve também análise de dados usando o teste de correlação de <i>Spearman</i>.</p>	<p>A partir da espectrofotometria UV-Vis foi possível obter os seguintes resultados: o conteúdo total de flavonoides variou de 0,94-243,5 mg QE/g, enquanto o total de fenólicos de 11,27-109,23 mg GAE/g. O teste DPPH e ABTS para atividade antioxidante mostrou que <i>C. longa</i> teve a maior atividade com um IC50 de 78,79 e 0,4273 ppm. Os maiores valores de FPS em <i>C. longa</i> foram 31,55-36,97 (alta proteção). Os resultados da análise de dados usando o teste de correlação <i>Spearman</i> revelaram uma correlação significativa entre a atividade antioxidante e o FPS com o conteúdo de flavonoides e fenólicos dos extratos de <i>cúrcuma</i>. Os resultados do teste de atividade antioxidante indicam que o extrato de <i>Curcuma longa</i>, em comparação com outras amostras, apresentou o menor valor de IC<sub>50</sub> e os efeitos antioxidantes mais fortes.</p>
<p>SON, Doyeong., <i>et al.</i> (2023).</p>	<p>Photoprotection effect of Pu'er tea and Curcuma longa L. extracts against UV and blue lights.</p>	<p>Extratos vegetais têm sido estudados devido ao seu potencial como agentes fotoprotetores contra a exposição à luz UV e azul. Estudos anteriores revelaram que vários extratos vegetais apresentam capacidade de fotoproteção e efeitos sinérgicos com produtos sintéticos. No entanto, tais resultados para chá pu'er e <i>Curcuma longa</i> L. ainda não foram relatados para uma formulação cosmética. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de fotoproteção do chá pu'er e dos extratos de <i>C. longa</i> L. para um composto protetor solar. Amostras em pó de chá Pu'er e <i>C. longa</i> L. usadas neste estudo foram adquiridas num mercado de ervas medicinais, Dongdaemungu, Seoul. Amostras em pó de chá pu'er e <i>C. longa</i> L. foram colocadas em água destilada (10% p/v) e 70% de etanol (10% p/v), respectivamente. Todas as amostras de extrato foram armazenadas a 4 °C até serem usadas. Uma etapa adicional de liofilização foi usada para formulação cosmética. O peso do extrato liofilizado comparado ao estado de extrato líquido do chá pu'er ou <i>C. longa</i> L. foi de 7,4% ou 1,2%, respectivamente. O pó liofilizado de <i>C. longa</i> L. foi diluído para um volume correspondente à mesma taxa de rendimento do chá pu'er (7,4%) em etanol a 70% antes de ser usado na preparação cosmética enquanto o chá pu'er foi usado como um pó liofilizado.</p>	<p>O extrato de chá pu'er melhorou o fator de proteção solar valor do 2-etil-hexil metoxicinamato (um composto de protetor solar sintético) em 46% e mostrou uma alta capacidade antioxidante que poderia ajudar a pele a se recuperar de danos fotoinduzidos. O extrato de <i>C. longa</i> L. também mostrou um potencial para proteger a pele de danos induzidos pela luz azul porque não só teve um pico máximo de absorção na faixa de luz azul, mas também protegeu os fibroblastos humanos de danos induzidos pela luz azul. A adição de ambos os extratos mudou o comprimento de onda crítico do 2-etil-hexil metoxicinamato de 350 nm para 386 nm, conferindo-lhe uma característica de amplo espectro. Assim, o chá pu'er e os extratos de <i>C. longa</i> L. podem aumentar a capacidade de fotoproteção dos protetores solares sintéticos.</p>

<p>HARSOJUWONO, Bambang Admadi; SATRIAWAN, I. Ketut; MULYANI, Sri. (2023).</p>	<p>The antiaging cream characteristics from extract of turmeric (<i>Curcuma domestica</i> Val.) rhizome and tamarind (<i>Tamarindus indica</i> L.) leaves.</p>	<p>Extrato de creme de cúrcuma e folha de tamarindo é um dos cosméticos feitos com ingredientes naturais que tem potencial para substituir os cosméticos de base química. Esse estudo tem como objetivo determinar o valor do equilíbrio hidrofílico-lipofílico (HLB) e o tipo de perfume para obter o creme com a melhor característica; uma mistura de extrato de rizoma de cúrcuma e folhas de tamarindo utilizada na produção de creme antienvhecimento e sua aplicação. O experimento usou delineamento de blocos randomizados com tratamento HLB: 9, 10, 11 e o tipo de perfume: 1,5% jasmim, 2% chamanhe, 2% rosa, enquanto o tratamento misto de extratos de cúrcuma e tamarindo foi usado com a concentração de 0, 1, 2, 3, 4, 5%. A aplicação do creme em experimentos animais, usando 36 ratos wistar (<i>Rattus norvegicus</i>), tratados sem creme, untados com creme placebo, untados com creme de uma mistura de folhas de tamarindo e extratos de cúrcuma durante 4 semanas, todos os grupos de ratos receberam exposição crônica de raios UV-B 840 mJ/cm.</p>	<p>Os resultados mostraram que o tipo de perfume teve um efeito significativo na dispersão, mas HLB e o tipo de perfume teve um efeito significativo na aceitação geral. O creme HLB 10 em todos os tipos de perfumes, mostrou as melhores características de creme. O menor valor de IC50 anticollagenase foi obtido no creme com uma concentração de 5% de extrato de cúrcuma e folhas de tamarindo, valor de IC50: 0,36 g/ml. A aplicação de uma mistura cremosa de extrato de rizoma de cúrcuma e folhas de tamarindo com uma concentração de 5% teve um efeito significativo na diminuição da expressão de MMP-1 até 12,147+2,380 µg/ml e aumentou a quantidade de colágeno em 23,67% na pele de ratos wistar.</p>
<p>Messire, G.; Serreau, R.; Berteina-Raboin, S., (2023).</p>	<p>Antioxidant Effects of Catechins (EGCG), Andrographolide, and Curcuminoids Compounds for Skin Protection, Cosmetics, and Dermatological Uses: An Update</p>	<p>Neste trabalho, optou-se por destacar as principais moléculas naturais extraídas da <i>Camellia sinensis</i>, <i>Andrographis paniculata</i> e <i>Curcuma longa</i> que contêm atividades antioxidantes de interesse para proteção da pele. Estas plantas são geralmente utilizadas como bebidas para <i>Camellia sinensis</i> (árvore do chá), como suplementos dietéticos, ou como especiarias. Em relação à cúrcuma, tendo em vista as poucas publicações que questionam sua eficácia, foi verificado suas atividades anti-inflamatórias e antioxidantes <i>in vitro</i> e depois <i>in vivo</i>.</p>	<p>Parece essencial perseverar, por um lado, na compreensão de seus vários mecanismos de ação e, por outro, no estudo de possíveis sinergias entre os compostos presentes na planta. Esta revisão da literatura, que não revela nenhuma toxicidade particular desses compostos, permite vislumbrar mais pesquisas sobre as dosagens necessárias para maximizar a eficácia e sobre os estudos e potenciais modulações de fármacos que precisam ser realizados para melhorar a penetração na pele. Da mesma forma, ainda é preciso encontrar soluções para limitar a instabilidade dessas várias moléculas.</p>
<p>Kusumorini, Nindya, and Abdul Karim Zulkarnain. (2024).</p>	<p>Formulation of a Lotion with Ethanol Extract of <i>Curcuma mangga</i> Val. as a UV B Sunscreen and Activity Test by UV-Vis Spectrophotometry.</p>	<p>A <i>Temu mango</i> (<i>Curcuma mangga</i> Val.) é uma planta rizoma nativa da Indonésia que contém compostos antioxidantes curcuminóides e flavonóides. Acredita-se que esses compostos atuem como protetores de luz UV, especialmente UVB. Neste estudo, foi realizado um teste qualitativo do conteúdo de compostos em <i>Temu mango</i> seguida de formulação e teste de atividade de água em óleo (A/O), loção de proteção solar de <i>Temu mango in vitro</i>. A otimização da formulação de loção A/O foi realizada usando o software Design Expert®(DE) versão 9.0.4.1 com o método <i>Simplex Lattice Design</i>. O software DE obteve 13 execuções da fórmula sem loção e continuaram testando a propriedade física para determinar a fórmula ideal. A fórmula ideal de loção A/O prevista pelo software DE foi testada pela estabilidade física por mais de 4 semanas; e o teste de FPS, porcentagem de pigmentação e porcentagem de eritema foram determinados por espectrofotometria UV-Vis.</p>	<p>O extrato de etanol da <i>Temu mango</i> contém compostos ativos que podem ser usados para preparar um protetor solar UV-B com um valor de FPS de 16,62. Além disso, o valor de FPS está incluído na categoria de proteção moderada, de acordo com os padrões da FDA (15-30 FPS); o valor de FPS atendeu ao valor recomendado em países tropicais, como a Indonésia. A formulação do extrato de etanol da <i>Temu mango</i> na preparação da loção A/O foi de 3% de concentração de extrato, 5% de álcool etílico, 7% de cera alba, 7% de glicerina, 40% de óleo mineral, 0,2% de metil parabeno, 0,1% de propil parabeno e 7% de span 80, o que rendeu um valor de FPS de 15,06 ± 0,39, 10,41% de pigmentação, 10,95% de eritema, bem como proteção moderada de acordo com os padrões da FDA.</p>

<p>Narwaria, Avinash., <i>et al.</i> (2024).</p>	<p>Preparation, evaluation, and in vitro studies of sustained-release topical hydrogel of <i>Curcuma longa</i> L. targeting skin disorders</p>	<p>Este estudo teve como objetivo formular e otimizar um hidrogel tópico de liberação sustentada à base de ervas para melhorar a saúde da pele. Neste estudo, o extrato metanólico de <i>Curcuma longa</i> (CE) foi adquirido e avaliado para uma ampla gama de atividades. O extrato foi submetido à triagem qualitativa e quantitativa de fitoconstituintes. Após testes confirmatórios e desenvolvimento de método, um hidrogel de liberação sustentada contendo CE foi formulado. Ele incorpora Sepimax Zen™, um polímero cruzado de poliacrilato amplamente utilizado, conhecido por suas propriedades espessantes e estabilizantes. O mentol serve como um intensificador de penetração, melhorando a administração do medicamento e fornecendo um aroma refrescante. O propilenoglicol (PG) e o isopropil miristato (IPM) melhoram a solubilidade da curcumina e a penetração na pele. A trietanolamina (TEA) mantém o pH da formulação para uso cosmético. Esta formulação oferece clareza, textura aveludada e compatibilidade com várias substâncias, tornando-a adequada para aplicações dermatológicas.</p>	<p>O estudo conduziu uma análise abrangente do extrato metanólico de <i>Curcuma longa</i> (CE), abrangendo identificação qualitativa de fenóis, glicosídeos, taninos e alcalóides, e uma avaliação quantitativa de curcuminóides. O hidrogel também exibiu capacidades de proteção solar, junto com eficácia de cicatrização de feridas comparável ao extrato puro. No geral, esta pesquisa marca um significativo avanço no desenvolvimento de um hidrogel tópico de liberação sustentada infundido com CE, prometendo uma abordagem holística para abordar várias doenças de pele ao aumentar a adesão do paciente. A combinação de CE e o gel hidratante apresenta uma solução potente para diversos problemas de pele, destacando a sinergia entre remédios naturais e sistemas de entrega modernos no avanço da dermatologia sem efeitos adversos.</p>
<p>Selma Beganovic, Christoph Wittmann (2024).</p>	<p>Medical properties, market potential, and microbial production of golden polyketide curcumin for food, biomedical, and cosmetic applications</p>	<p>O cultivo da cúrcuma levanta preocupações ambientais, pois as plantas ocupam terras agrícolas valiosas e exigem irrigação intensiva, o que pode levar à escassez de água em áreas áridas. Neste trabalho, após atualizar as aplicações e o potencial de mercado da curcumina, novas estratégias foram revisadas para aproveitar a biologia sintética e a engenharia metabólica de sistemas para criar fábricas de células microbianas para síntese de curcumina.</p>	<p>Esforços recentes levaram a estirpes microbianas que produzem o polipeptídeo vegetal curcumina na escala de miligramas por meio de vias heterólogas simplificadas. Vários desafios devem ser enfrentados para desbloquear todo o potencial da produção de curcumina microbiana e aproveitar os benefícios da curcumina para a indústria, saúde e meio ambiente. Para melhorar os fatores econômicos, as cepas microbianas e os processos de fermentação devem ser ainda mais otimizados para atingir maiores rendimentos de curcumina e maior pureza, minimizando subprodutos e resíduos. Além disso, o processamento posterior da curcumina, que é convencionalmente extraído do caldo de células total usando solventes polares, pode ser de interesse para otimização. Essas conquistas podem ser cruciais para atingir uma produção escalável de curcumina com pegadas de carbono atraentes e níveis de consumo de recursos.</p>
<p>FIRMANSYAH, Deni et al. (2025).</p>	<p><i>Curcuma longa</i> L. (<i>Zingiberaceae</i>) extract protects against epithelial damage and reduces the expression of the microphthalmia-associated transcription factor in UVB-exposed Wistar rats.</p>	<p>O objetivo desse estudo é explorar o papel do extrato de <i>C. longa</i> (EECL) na melanogênese e na expressão do fator de transcrição associado à microftalmia (MITF) em ratos Wistar expostos aos raios UVB. Os ratos foram aleatoriamente divididos em seis grupos: o controle normal (sem exposição a UVB, sem tratamento); o controle negativo (exposto a UVB, tratado com veículo em gel); o controle positivo (exposto a UVB, tratado com ácido fólico em veículo em gel); e 3 grupos de tratamento de doses de EECL de 2%; 4%; 8% em veículo de gel. A macroscopia, imuno-histoquímica e histopatologia da pele do animal foram avaliadas.</p>	<p>O extrato de <i>Curcuma longa</i> revelou sua atividade na redução da gravidade do eritema e abrasão epitelial causada pela radiação UVB. Ele também reduz a melanogênese, inibe a inflamação e o dano epitelial e diminui a expressão de MITF. Está confirmado que o extrato de <i>Curcuma longa</i> é um potencial candidato para um produto de cuidados com a pele, porém mais estudos clínicos são necessários para verificar sua eficácia e segurança.</p>

Quadro 1- Apresenta a seleção dos artigos em ordem cronológica usados para a construção da referida revisão bibliográfica sobre o tema proposto.

A exposição solar oferece vantagens à saúde. Por outro lado, a exposição excessiva pode ocasionar riscos, incluindo o desenvolvimento de câncer de pele e danos ao envelhecimento cutâneo. A proteção solar tornou-se uma prática fundamental, com produtos que empregam filtros químicos e físicos. A busca por protetores solares mais seguros e eficazes conduziu à exploração da biodiversidade brasileira por substâncias bioativas naturais que possuem em sua composição metabólitos secundários importantes e capazes de conferir potencial fotoprotetor e antioxidante para essas aplicações.

É inegável como os ativos sintéticos contribuíram para a eficiência e melhoria dos produtos em setores alimentícios e cosméticos, por exemplo. No entanto, a necessidade de substituição total ou parcial por substâncias naturais se tornou uma tendência de mercado. Além disso, retornam-se os costumes tradicionais do uso da biodiversidade com fins medicinais.

Nesse contexto, a curcumina, encontrada no açafrão, é um composto polifenólico multifuncional que apresenta propriedades farmacológicas diversas, incluindo ação fotoprotetora. Sua composição química diversificada, incluindo os curcuminoides, demonstra potencial frente à radiação ultravioleta, o que tem despertado interesse na sua aplicação em formulações cosméticas para proteção solar.

A revisão integrativa abrangeu estudos entre os anos de 2011 e 2024, explorando o uso da cúrcuma na fotoproteção de formulações cosméticas. A busca sistemática dessas informações, destaca a importância crescente do uso de substâncias naturais na indústria cosmética, particularmente no desenvolvimento de produtos para proteção solar.

Esta revisão oferece uma visão abrangente sobre a aplicação de bioativos naturais, especialmente a curcumina, na proteção solar em cosméticos, destacando sua relevância e potencialidades na criação de formulações mais seguras e eficazes para os cuidados com a pele.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica possibilitou o conhecimento potencial da cúrcuma longa em relação às suas características e propriedades biológicas para uso como ingrediente natural em formulações cosméticas, promovendo assim fator de proteção UV. Diante dessa temática, é possível destacar o alto valor agregado desse recurso natural, abundante em nosso território nacional, que até um tempo atrás destacava-se apenas no valor nutricional, muito empregado na culinária e, partir da exploração de suas importantes propriedades biológicas, pode ser foco atual de investigações no setor farmacêutico para uso em cosméticos e medicamentos com caráter antioxidante e anti-inflamatório, relevantes.

Embora ainda seja um campo de pesquisa novo e pouco explorado, a adição desse bioativo em formulações cosméticas apresentam resultados satisfatórios quando relacionado ao seu poder de fotoproteção.

A incorporação desse bioativo natural nas formulações visa agregar valor e potencialidades às características do produto, como também na nova tendência de mercado, em substituir os materiais sintéticos por materiais naturais nas formulações cosméticas fotoprotetoras. Tendo em vista que, além de serem naturais, oriundos de fontes renováveis, são sustentáveis, viáveis e seguros para serem empregados na área da saúde.

Os estudos apresentados aqui, demonstraram consistentemente o potencial da curcumina em produtos cosméticos fotoprotetores, abordando os vários estudos e comprovando a eficácia dessa substância na prevenção do câncer de pele. Todos esses trabalhos destacam a utilização de recursos naturais e sustentáveis no desenvolvimento de formulações químicas promissoras.

## REFERÊNCIAS

Adusumilli, N.C., Mordorski, B., Nosanchuk, J., Friedman, J.M. and Friedman, A.J. **Curcumin nanoparticles as a photoprotective adjuvant.** *Exp Dermatol*, 30: 705-709. 2021.

Aguiar, Marcelle, and Priscilla H.G.S. Novelli. **“DESENVOLVIMENTO de UMA FORMULAÇÃO COSMÉTICA ANTIOXIDANTE E FOTOPROTETORA À BASE de CURCUMINA.”** *Perspectivas Da Ciência E Tecnologia*, vol. 12, 30 Apr. 2020, <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2020.v12.p.24-39>.

Akaberi M, Sahebkar A, Emami SA. **Turmeric and curcumin: from traditional to modern medicine.** In *Studies on Biomarkers and New Targets in Aging Research in Iran: Focus on Turmeric and Curcumin*. Edited by Guest PC. Springer International Publishing; 2021.

Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos (ABIHPEC). **Produtos naturais impulsionam cuidado com pele e cabelo.** 2019.

Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos **Empresas de cosméticos naturais saltam no país e miram internacionalização de marcas.** 2022.

Brasil. Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos (SCTIE), Departamento de Assistência Farmacêutica (DAF). **Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse para o SUS (RENISUS); fev/2009.**

BHALKE, R. D. et al. **A facile approach to fabrication and characterization of novel herbal microemulsion-based UV shielding cream.** *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 6, p. 1-10, 2020.

Cho, B. O., Che, D. N., Shin, J. Y., Kang, H. J., Kim, S. J., Choi, J., Jang, S. I. **Photoprotective properties of combined extracts from Diospyros lotus leaves and Curcuma longa rhizomes against chronic UVB-induced photodamage.** *Journal of Food Biochemistry*. 2018.

DALLA, Evdokia *et al.* **Formulation, Characterization and Evaluation of Innovative O/W Emulsions Containing Curcumin Derivatives with Enhanced Antioxidant Properties.** *Antioxidants*, v. 11, n. 11, p. 2271, 2022.



- DE JESUS SILVA, Jussara *et al.* **Desenvolvimento e avaliação fotoprotetora, in vitro, de formulações de mistura curcuminoide e chalconas estruturalmente relacionadas.** *Scientia Plena*, v. 18, n. 10, 2022.
- Di Lorenzo, R., Grumetto, L., Sacchi, A., Laneri, S., & Dini, I. **Dermocosmetic evaluation of a nutraceutical formulation based on *Curcuma*.** *Phytotherapy Research*, 37(5), 1900–1910. 2023.
- Dini, I., Izzo, L., Graziani, G., & Ritieni, A. **The nutraceutical proper-ties of “pizza Napoletana marinara TSG” a traditional food rich inbioaccessible antioxidants.** *Antioxidants*, 10(3), 495. 2021.
- Dosoky, N., & Setzer, W. **Chemical composition and biological activities of essential oils of curcuma species.** *Nutrients*. 2018. 10(9), 10–17. <https://doi.org/10.3390/nu10091196>
- DOS SANTOS, Carolina de Mello Souza; DE SOUZA, Priscilla Henriques Groetaers. **Avaliação da atividade fotoprotetora da curcumina.** *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693*, v. 9, p. 26-45, 2017.
- FILHO, ABC; SOUZA, RJ; BRAZ, LT; TAVARES, M. **Cúrcuma: planta medicinal, condimentar e de outros usospotenciais.** *Ciência Rural*, 30(1), 171-175, 2000.
- FIRMANSYAH, Deni *et al.* **Curcuma longa L.(Zingiberaceae) extract protects against epithelial damage and reduces the expression of the microphthalmia-associated transcription factor in UVB-exposed Wistar rats.** *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, v. 13, n. 3, p. 695-704, 2025.
- GIRALDO, JCM; ATEHORTÚA, L; MEJÍA, MAP. **Foto-protección: mecanismos bioquímicos, punto de partidahaciamejores filtros solares.** *Dermatología Cosmética, Médica y Quirúrgica*, 12(4), 272-281, 2014.
- Guimarães, Anabrisa, *et al.* **“ESSENTIAL OIL of Curcuma Longa L. RHIZOMES CHEMICAL COMPOSITION, YIELD VARIATION and STABILITY.”** *Química Nova*, vol. 43, no. 909-913, 2020.
- Hailun He, Anqi Li, Shiqin Li, Jie Tang, Li Li, Lidan Xiong. **Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF).** *Biomedicine & Pharmacotherapy*. Volume 134. 2021, 111161, ISSN 0753-3322,
- HARSOJUWONO, Bambang Admadi; SATRIAWAN, I. Ketut; MULYANI, Sri. **The antiaging cream characteristics from extract of turmeric (*Curcuma domestica* Val.) rhizome and tamarind (*Tamarindus indica* L.) leaves.** 2023.
- Juang LJ, Wang BS, Tai HM, Hung WJ, Huang MH. **Simultaneous identification of eight sunscreen compounds in cosmetic products using high-performance liquid chromatography and capillary electrophoresis.** *J Food Drug Anal.* 2008 May;16(6):22-8.7.
- Kaur, C.D., Saraf, S. **Topical vesicular formulations of *Curcuma longa* extract on recuperating the ultraviolet radiation–damaged skin.** *Journal of Cosmetic Dermatology*, 10: 260-265. 2011.
- Kaur CD, Saraf S. **Photochemoprotective activity ofalcoholic extract of *Camellia sinensis*.** *Int J Pharmacol*2011; 7(3): 400–404.
- Kohli, K., Ali, J., Ansari, M. J., & Raheman, Z. **Curcumin: A natural anti inflammatory agent.** *Indian Journal of Pharmacology*, 37(3), 141. 2005.

Kosuga, M.; Kosuga, T.; Ando, N.; Muramatsu, N.; Kawai, M. **Topical and Cosmetic Preparations Containing Capsaicins, Sinapines, or Curcumin** for Secretion Stimulation. Japan Patent JP10120558A, 12 May 1998.

Kusumorini, Nindya, and Abdul Karim Zulkarnain. “**Formulation of a Lotion with Ethanol Extract of Curcuma mangga Val. as a UV B Sunscreen and Activity Test by UV-Vis Spectrophotometry.**” Indonesian Journal of Pharmacy/Majalah Farmasi Indonesia 35.3 (2024).

LI, Huaping *et al.* **Protective effect of curcumin against acute ultraviolet B irradiation-induced photo-damage.** Photochemistry and Photobiology, v. 92, n. 6, p. 808-815, 2016.

Messire, G.; Serreau, R.; Berteina-Raboin, S. **Antioxidant Effects of Catechins (EGCG), Andrographolide, and Curcuminoids Compounds for Skin Protection, Cosmetics, and Dermatological Uses: An Update.** Antioxidants 2023, 12, 1317.

M.S. Matsui, et al. **Non-sunscreen photoprotection: antioxidants add value to a sunscreen,** J. Investig. Dermatol. Symp. Proc. 14 (1) (2009) 56–59.

Murtinho DMB, Serra MES, Pineiro M. **Síntese de fotoprotetores e sua imobilização em poli(metacrilato de metilo): um projeto integrado de química orgânica, química de polímeros e fotoquímica.** QuimNova. 2010.

Narwaria, Avinash., *et al.* **Preparation, evaluation, and in vitro studies of sustained-release topical hydrogel of Curcuma longa L. targeting skin disorders.** International Journal of Ayurveda Research 5(2):p 94-107, Apr–Jun 2024.

NURHASNAWATI, HENNY., *et al.* **Study of Curcuma diversity from Central Java, Indonesia for sunscreen and antioxidant activity based on quantitative phytochemical analysis.** Biodiversitas Journal of Biological Diversity, v. 24, n. 12, 2023.

Parrado, C., Mascaraque, M., Gilaberte, Y., Juarranz, A., & Gonzalez, S. **Fernblock (polypodium leucotomos extract): Molecular mechanisms and pleiotropic effects in light-related skin conditions, photoaging and skin cancers, a review.** International Journal of Molecular Sciences, 17(7), 1026. 2016.

RAHMAN, M. *et al.* **Low cost home-made turmeric (hydro) gel: Preparation, rheology and prediction of safe period for using.** J Dermat Cosmetol, v. 3, n. 6, p. 145-150, 2019.

Sharifi-Rad J., *et al.*: **Turmeric and its major compound curcumin on health: bioactive effects and safety profiles for food, pharmaceutical, biotechnological and medicinal applications.** Front Pharmacol 2020.

Saraf S, Kaur CD. **Phytoconstituents as photoprotective novel cosmetic formulations.** Pharmacog Rev 2010; 4(7):1–11

SATRIAWAN, Anastasia Bakkara I. Ketut; MULYANI, Sri. **Stability of Emulsion Cream Extract Turmeric (Curcuma domestica Val.) in Various Concentration.** 2017.

Selma Beganovic, Christoph Wittmann, **Medical properties, market potential, and microbial production of golden polyketide curcumin for food, biomedical, and cosmetic applications,** Current Opinion in Biotechnology, Volume 87, 2024.

SIMÕES, C.M.O. *et al.* (Orgs.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6.ed. revisada e ampliada. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da UFRGS/Editora da UFSC, 2017.

Signh Khasla KP, Tierra. **The Way of Ayurvedic Herbs**. Lotus Press: Twin Lakes, WI. 2008.

Skenderi G. **Herbal Vade Mecum**Rutherford. Herbacy Press: NJ. 2003.

SON, Doyeong., *et al.* **Photoprotection effect of Pu'er tea and Curcuma longa L. extracts against UV and blue lights**. Journal of Applied Biological Chemistry, v. 66, p. 106-113, 2023.

SOUSA, R. G., *et al.* **Incremento da atividade fotoprotetora e antioxidante de cosméticos contendo extratos vegetais da Caatinga**. Brazilian Journal of Natural Sciences, v. 3, n.1, 2020.

Tiwari, R., Singh, I., Gupta, M., Singh, L. P., & Tiwari, G. **Formulation and Evaluation of Herbal Sunscreens: An Assessment Towards Skin Protection from Ultraviolet Radiation**. 2022.

Vaughn AR., Branum A., Sivamani RK. **Effects of Turmeric (Curcuma longa) on Skin Health: A Systematic Review of the Clinical Evidence**. Phytother Res. 2016.

ZAMARIOLI, CM; MARTINS, RM; CARVALHO, EC; FREITAS, LA. **P.Nanoparticles containing curcuminoids(Curcuma longa): development of topical delivery formulation**. Revista Brasileira de Farmacognosia, 25(1), 53-60,2015.

ZHENG, Yating *et al.* **Antiaging effect of Curcuma longa L. essential oil on ultraviolet-irradiated skin**. Microchemical Journal, v. 154, p. 104608, 2020.

# ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO EM VEREDAS POR SENSORES ORBITAIS

*Data de submissão: 13/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Josiane Maria da Silva**

Mestranda em Produção Vegetal, UFVJM,  
Unaí-MG

### **Ingrid Horák Terra**

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

### **Lucas Santos Santana**

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

### **Lucas G. M. dos Santos**

Mestrando em Produção Vegetal, UFVJM,  
Unaí-MG

### **Fabricio da Silva Terra**

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

### **André Medeiros de Andrade**

Professor adjunto, UFVJM, Unaí-MG

**RESUMO:** O objetivo desse trabalho consiste no mapeamento de estoque de carbono por tecnologias de sensoriamento remoto em veredas no município de Unaí – MG a fim de evidenciar o potencial desses ecossistemas no sequestro de carbono para atenuar o aquecimento global e incentivar políticas de preservação ambiental. Foram utilizadas imagens do município de Unaí no mês de maio de 2024 obtidas pelo satélite Ladsat-8 e 9 e foram processadas

no software QGis 3.34.6 para extração dos índices: NDVI, PRI, sPRI e Co2Flux e classificação do uso de solo do município. As imagens do índice CO2flux foram recortadas com as delimitações das áreas de veredas e reclassificadas nas classes 1 (baixo), 2 (médio) e 3 (alto) que representam o potencial da área em sequestrar carbono. As veredas responderam de forma positiva quanto ao sequestro de carbono, visto que 82,83% da sua área está dentro da classe 3 denominada classe com alto nível na capacidade da área em estocagem de carbono. A formação de índices vegetativos em imagens Landsat foi suficiente para o mapeamento do potencial de sequestro de carbono em Veredas no município de Unaí -MG.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Veredas, Carbono.

## CARBON STOCK ESTIMATION IN SAVANNA PALM SWAMP USING ORBITAL SENSORS

**ABSTRACT:** The objective of this work is to map the carbon stock using remote sensing technologies in savanna palm swamp in the municipality of Unaí – MG, in order to highlight the potential of these ecosystems

in carbon sequestration to mitigate global warming and incentives for environmental preservation policies. Images of the municipality of Unaí in the month of May 2024 obtained by the Landsat-8 and 9 satellite were used and were processed in the QGIS 3.34.6 software to extract the indices: NDVI, PRI, sPRI and Co2Flux and classify the municipality's land use. The CO2flux index images were recorded with the delimitations of the footpath areas and reclassified into classes 1 (low), 2 (medium) and 3 (high) which represent the area's potential to sequester carbon. The savanna palm swamps responded positively regarding carbon sequestration, since 82.83% of their area is within class 3, indicating a class with a high level of the area's carbon storage capacity. The formation of vegetative indices in Landsat images was sufficient to map the carbon sequestration potential in savanna palm swamps in the municipality of Unaí -MG.

**KEYWORDS:** Remote sensing, Savanna palm swamps, Carbon.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aquecimento global tem impacto significativo nas mudanças climáticas que vêm proporcionando uma série de eventos catastróficos em escala mundial. O aumento da temperatura global, gerado pela maior retenção de calor pela atmosfera, causa uma série de desequilíbrios ambientais, como eventos climáticos extremos, mudanças nos padrões de precipitação e perda da biodiversidade (Moreira et al., 2022). Isso ocorre devido ao aumento na concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera e ao desmatamento desenfreado para ocupação de atividades agropecuárias (Shukla et al., 2019).

O impacto do aquecimento global pode ser atenuado por estratégias elaboradas a fim de reter esses gases formando estoques de carbono na superfície. Nesse sentido, destacam-se os sumidouros naturais de carbono, como a dinâmica da matéria orgânica do solo e a biomassa florestal. Responsáveis pela retenção de gases de efeito estufa atenuando a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico (Inácio et al., 2022; Gong et al., 2020).

A remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera é realizado pela fotossíntese das plantas e armazenado como carbono na biomassa. Dessa forma, uso de culturas ou preservação de ambientes que armazenem ou sequestram esse carbono da atmosfera tem se tornado necessário para minimizar as emissões expressivas desses gases poluentes na atmosfera (Fao, 2016).

Nesse contexto, os ecossistemas de veredas (savanna palm swamp) se destacam pelo predomínio de solos hidromórficos e orgânicos que atuam na drenagem do carbono atmosférico consideradas como reguladoras das mudanças climáticas (Porto et al., 2018; Malerba et al., 2023). As áreas de veredas são consideradas áreas permanentes e prioritárias para proteção ambiental. Funcionam como linha de drenagem do bioma Cerrado e desempenham serviços ecossistêmicos extremamente importantes como nascentes de água, recarga de águas subterrâneas, armazenamento de carbono e habitat da vida selvagem (Hu et al., 2017).

No entanto, ações antrópicas como o desmatamento para expansão de novas áreas, captação de água para irrigação de cultivos e lixiviação e escoamento de agroquímicos tem impactado esses ambientes (Ribeiro et al., 2019). Vale ressaltar que a região do Noroeste de Minas Gerais é um dos polos estaduais do agronegócio, com destaque para o município de Unaí com a maior produção de grãos do estado de Minas Gerais (Oliveira et al., 2022). Nos últimos 50 anos, as veredas foram alteradas e diminuíram drasticamente à medida que a cobertura do solo foi modificada (Guo et al., 2017; Menezes et al., 2021).

Dessa forma, alterações nesses ecossistemas podem ocorrer devido a expansão agrícola da região acarretando a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos desses ambientes consideradas tão importantes para estoque e fluxo de carbono (Ribeiro et al., 2019). Porém, estudos sobre quantificação de carbono nesses ambientes ainda são incipientes. Nesse sentido, a aplicação de tecnologias como o sensoriamento remoto podem ser eficientes na estimativa do potencial de estoque de carbono (Van Wesemael et al., 2023).

O sensoriamento remoto aliado a técnicas de geoprocessamento permite uma análise espaço temporal da variabilidade espacial da floresta por meio de imagens obtidas pelos sensores orbitais (Manzato et al., 2018). As imagens obtidas dos sensores multiespectrais são processadas e interpretadas por meio de índices de vegetação que permitem estimar em uma escala regional o estoque e fluxo de carbono. Além de quantificar com precisão o carbono estocado de forma rápida e menos onerosa considerada uma solução promissora para quantificação de biomassa e estoque de carbono (Pechanec et al., 2017; Hu et al., 2020).

Os índices espectrais como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Zhang et al., 2024) e o PRI (Photochemical Reflectance Index) (Chen et al., 2019), cooperam para a obtenção de outro índice, denominado CO<sub>2</sub> flux, que quantifica o sequestro de carbono, possibilitando o mapeamento da vegetação fotossinteticamente ativa em determinada área de estudo (Baptista et al., 2003; Rahman, et al., 2000). Ressalta-se que o CO<sub>2</sub> flux é proporcional ao fluxo de carbono e, dependente da integração entre o NDVI com o PRI, resultando nesse novo índice (Silva et al., 2021).

Considerando a importância atual do tema das mudanças climáticas globais e a relação com o sequestro de carbono o objetivo desse trabalho consiste no mapeamento de estoque de carbono por tecnologias de sensoriamento remoto em veredas no município de Unaí – MG a fim de evidenciar o potencial desses ecossistemas no sequestro de carbono para atenuar o aquecimento global e incentivar políticas de preservação ambiental.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Unaí no noroeste de Minas Gerais (Figura 01) entre as coordenadas geográficas  $16^{\circ} 21' 6''$  S e  $46^{\circ} 54' 43''$  O no fuso 23S. De acordo com a classificação climática de Köppen, adaptada por Alvares et al., (2013) o clima é do tipo Aw, com temperatura média anual de  $24^{\circ}$  C sendo a média anual pluviométrica de 1400 mm.

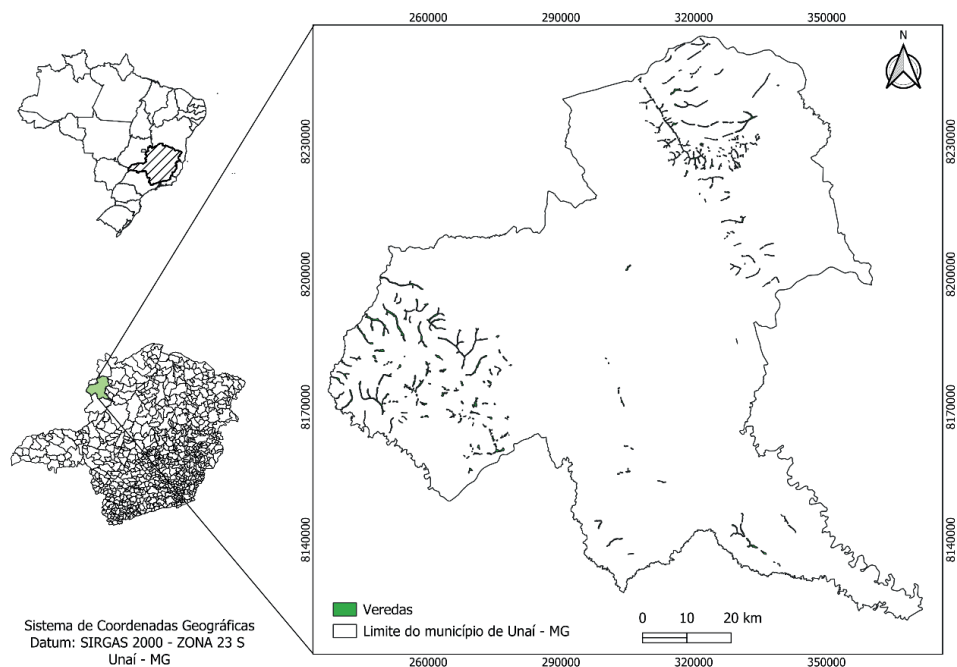


Figura 1. Mapa de localização do município de Unaí – MG e as respectivas áreas de veredas.

O município de Unaí possui vegetação do Bioma Cerrado com a presença das seguintes fitofisionomias: Cerrado sentido restrito, Cerradão, Veredas, Mata Ciliar, Campo sujo e limpo (Mourão et al., 2001). Ocorrem extensas áreas de pastagem e de plantio provenientes da expansão da fronteira agrícola e do desenvolvimento da região. No mapa da figura 2 são apresentadas as classes de uso do solo do município.

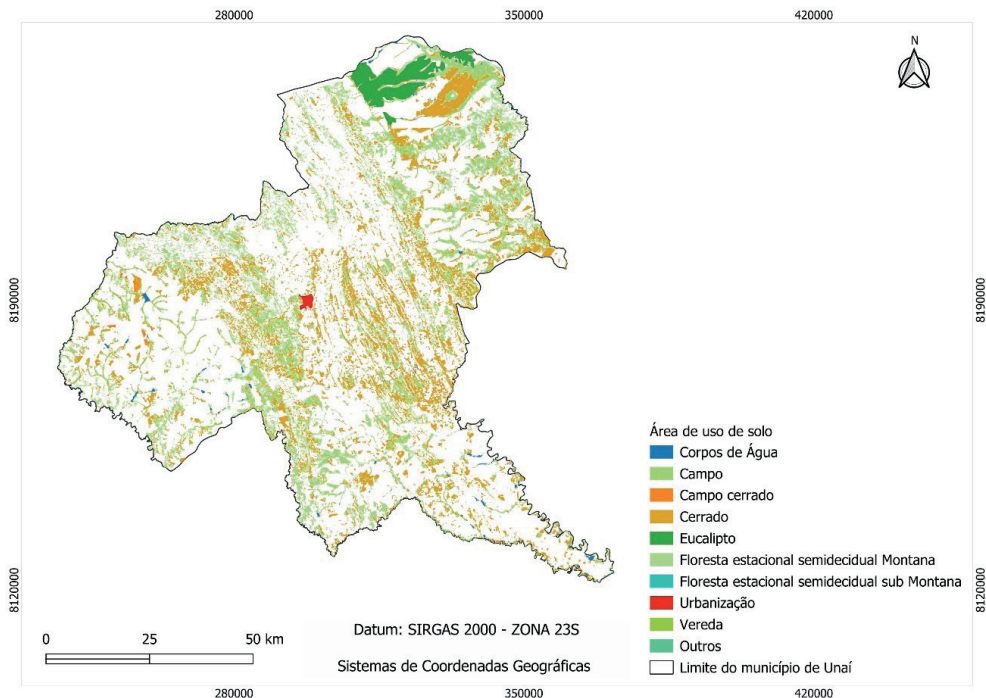


Figura 2. Mapa de uso do solo no município de Unaí - MG

Apesar da expansão agrícola na região ser predominante, o município possui uma vasta extensão territorial de vegetação, com áreas de cerrado, campo, florestas e veredas. Na tabela 1, são apresentadas as classes de uso do solo e suas respectivas áreas de cobertura vegetal e o percentual correspondente a cada classe.

Descrição	Área (ha)	%
Cerrado	120.212,55	14,20
Campo	80.160,23	9,47
Floresta estacional semidecidual Montana	29.512,00	3,49
Eucalipto	15.150,16	1,79
Vereda	8.156,49	0,96
Campo cerrado	4.177,73	0,49
Água	2.468,85	0,29
Urbanização	869,41	0,10
Floresta estacional semidecidual sub Montana	22,79	0,01
<b>Total</b>	<b>260.73,21</b>	<b>30,80</b>
<b>Área de Unaí - MG</b>	<b>846.379,28</b>	
<b>Área coberta por vegetação</b>	<b>257.391,95</b>	
<b>% Área coberta por vegetação</b>	<b>30,41%</b>	

Tabela 1. Descrição do uso de solo e área coberta por vegetação no município de Unaí - MG



A área coberta por vegetação no município de Unaí é de 257.391,95 hectares cujo percentual corresponde a 30,41%. Os ecossistemas de veredas representam cerca de 8.156,49 hectares correspondente a 0,96% de toda vegetação do município de Unaí. Esses ecossistemas se destacam pelo predomínio de solos hidromórficos e orgânicos que atuam na drenagem do carbono atmosférico.

## 2.2 Aquisição de dados

As imagens foram obtidas em um conjunto de cenas referentes ao mês de maio de 2024 do satélite Landsat-8 e 9 (Tabela 2) por download no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2024). Foram utilizadas as bandas 2, 3 e 4, referentes a faixa do visível (RGB), e 8, correspondente a banda do NIR (Near Infrared), com resolução espacial de 30 metros. A seleção das imagens foi realizada com base na inexistência ou baixa cobertura de nuvens dentro do período de análise. Na tabela 2 são demonstradas as características das imagens orbitais obtidas pelo satélite Landsat no mês de maio de 2024.

Satélite	Orbita/ponto	Resolução espectral	Data de aquisição das imagens
Landsat 9	221071	9	30/04/2024
Landsat 8	221072	9	01/05/2024
Landsat 8	221071	9	01/05/2024

Tabela 2. Caracterização das imagens orbitais do satélite Landsat.

## 2.3 Processamento de dados

Após a obtenção das imagens, foi necessário realizar a correção atmosférica, que visa minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de uma cena, já que os fenômenos de espalhamento, absorção e refração afetam a radiância refletida captada pelo sensor. Nessa etapa, as imagens foram submetidas no software Qgis 3.34.6 no qual foi realizado esse ajuste.

As cenas passaram pelo seguinte processo: Reprojeção das cenas para o Hemisfério Sul, pois não estão georreferenciadas e recorte das cenas para a área de estudo, a fim de facilitar o processamento.

As imagens corrigidas foram processadas no software QGis 3.34.6 para quantificação das áreas de carbono. Após processamento das imagens e preparação dos ortomosaicos foram extraídas os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), PRI (Photochemical Reflectance Index) e CO2 Flux (Forest Carbon Sequestration Index) utilizando calculadora raster.

O cálculo do NDVI baseia-se no método da razão entre as bandas monocromáticas. No satélite Landsat estas bandas correspondem ao comprimento de onda 0,85 - 0,88  $\mu\text{m}$  (NIR) e 0,64 - 0,67  $\mu\text{m}$  (RED) conforme apresentados na Equação 1 (Huete, 2022):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Para o cálculo do PRI (Photochemical Reflectance Index) que identifica a eficiência da fotossíntese, é realizada a relação de bandas correspondentes ao comprimento de onda 0,450 - 0,51 µm (BLUE) e 0,53 - 0,59 µm (GREEN), ou seja, a absorção da banda do azul, em relação ao pico ocorrido na banda de reflexão do verde (Oliveira et al., 2017), variando expresso pela seguinte equação:

$$PRI = \frac{B - G}{B + G}$$

Onde:

PRI = Photochemical Reflectance Index

B = A reflectância da faixa do azul;

G = A reflectância da faixa do verde;

Após o cálculo do índice PRI, esse índice foi reescalado para valores positivos, resultando no sPRI (Photochemical Reflectance Index) seguindo a metodologia proposta por Rahman et al. (2000).

$$sPRI = \frac{PRI + 1}{2}$$

Onde:

sPRI = Photochemical Reflectance Indexreescalado para valores positivos

PRI = Photochemical Reflectance Index

Os índices NDVI e PRI foram integrados, segundo a metodologia de Rahman et al., (2000), para gerar o índice CO2 Flux (Forest Carbon Sequestration Index) que mensura a eficiência do sequestro de carbono por parte da vegetação expresso pela seguinte equação:

$$CO2flux = sPRI * NDVI$$

Onde:

CO2 flux= Índice de Sequestro de Carbono

sPRI = Photochemical Reflectance Indexreescalado para valores positivos;

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index;

As equações foram executadas usando uma rotina de processamento no software QGis gerando os índices. Em seguida, as imagens do índice CO2flux foram recortadas com as delimitações das áreas de veredas que foram obtidas por meio da classificação de uso do solo. Para analisar a capacidade da vegetação em sequestrar carbono foi realizada a reclassificação da imagem gerando um intervalo de três classes que foram submetidos a reclassificação por tabela por meio análise de dados raster. Assim, a cena foi subdividida em três classes a partir do intervalo de mínimo e máximo, sendo: nível 1 baixo; nível 2

médio e nível 3 alto sendo elas: Classe 1 (0 a 0,100), classe 2 (1,001 a 2,000), classe 3 (2,0001 a 3,0000).

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices espectrais de vegetação foram analisados com foco na obtenção do indicador de fluxo de carbono. Essa relação existe pois os valores de índice de vegetação NDVI demonstram variações entre 0 e 1 como escala de vigor vegetativo combinado com o cálculo de índice espectral sPRI. Coltri et al., (2009) afirmam que o NDVI é considerado um bom estimador de biomassa e estoque de carbono das plantas, além de classificar de maneira mais eficiente a área, principalmente onde a vegetação não é tão densa.

Os valores de CO<sub>2</sub>flux são demonstrados de forma espacial na Figura 3, divididos em três classes a partir do intervalo de mínimo e máximo, sendo elas: Classe 1 (0 a 0,100), classe 2 (1,001 a 2,000) e classe 3 (2,0001 a 3,0000). No mapa da figura 3 são demonstradas duas escalas de cores, CO<sub>2</sub>flux que representa a classificação primitiva do índice e a escala do raster classificado ao qual representa os valores classificados em 3 classes.

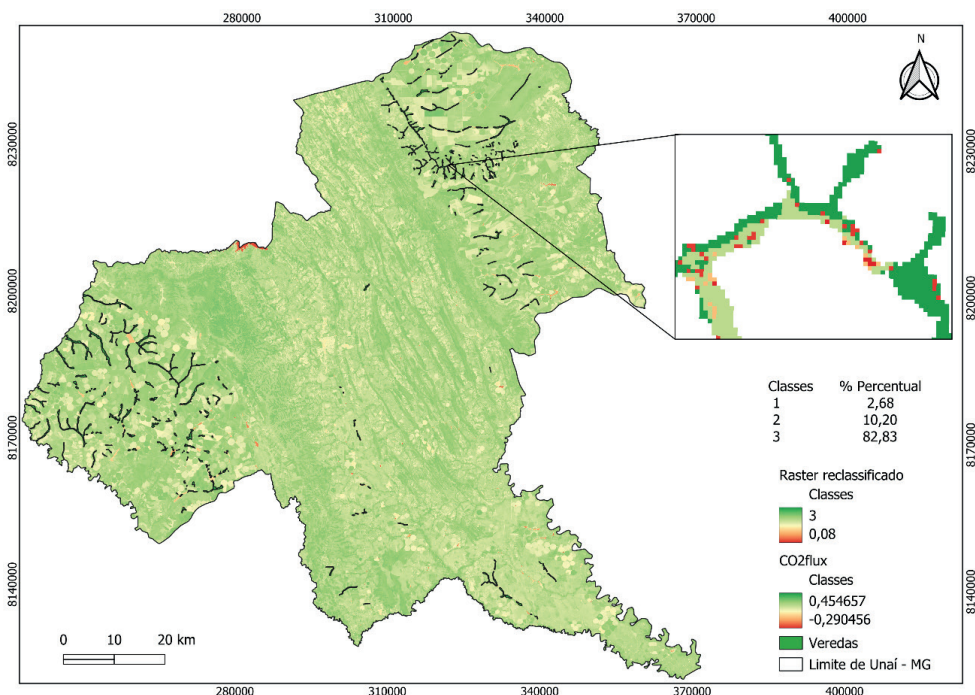


Figura 3. Índice CO<sub>2</sub>flux no município de Unai – MG nas áreas de veredas.

A inserção do mapa de CO<sub>2</sub>flux torna-se possível analisar a intensidade do fluxo de CO<sub>2</sub> para área de estudo. A partir destes dados verifica-se que os valores menores que 0,08 caracterizam a região com menor intensidade de fluxo de CO<sub>2</sub>, demonstrando

baixa capacidade em sequestrar carbono. Conforme calculado, para a região com maior intensidade de fluxo de CO<sub>2</sub> encontram-se as áreas com valores próximos a 3. Em complemento para melhor identificação da capacidade da vegetação em sequestrar carbono, se fez necessário separar a área em classes, a classificação representa o potencial da área em sequestrar carbono na região de Unai em diferentes níveis. Dessa forma, as áreas de veredas, do município de Unai, foram classificadas sendo apresentadas na tabela 3.

Classes	Pixel	Percentual (%)	Área (m <sup>2</sup> )	Área (ha)
1	2428	2,68	2185200	218,52
2	9236	10,2	8312400	831,24
3	75004	82,83	67503600	6750,36

Tabela 3. Classificação da capacidade de sequestro de carbono, no município de Unai-MG, nos ecossistemas de veredas e suas respectivas áreas.

Os valores apresentados na tabela 3, demonstram que as veredas responderam de forma positiva quanto ao sequestro de carbono, visto que 82,83% da sua área está dentro da classe 3. Denominada classe com alto nível na capacidade da área em estocagem de carbono, apresentando área de 6.750,36 ha. O alto índice de estocagem de carbono em veredas localizadas entre norte e noroeste de Minas também foram evidenciadas nas pesquisas de Silva et al., (2022). Os autores avaliaram a capacidade do sequestro de carbono em diferentes usos e coberturas do solo em áreas do bioma Cerrado, norte de Minas Gerais, evidenciando que as áreas de Veredas se destacaram por apresentar melhor BLM (balanço hídrico). Além de apresentar baixa variabilidade dos valores de carbono fixado do verão para o inverno.

Nos ecossistemas de veredas outro ponto a ser destacado é a disponibilidade hídrica, essa característica favorece a atividade fotossintética, elevando os padrões de evapotranspiração e conseqüentemente maior absorção de carbono atmosférico. A caracterização de veredas, assim como foi realizada neste estudo parte do pressuposto que nessas regiões os valores mínimos aceitados para melhores respostas espectrais sejam atendidos. Os intervalos de máximo e mínimo do fluxo de carbono foram comprovados nas pesquisas desenvolvidas por Batista et al., (2004) o qual conclui em seu estudo uma alta relação entre atividade fotossintética eficácia no processo de sequestro de carbono. Evidenciando a eficiência de monitoramento refletância na faixa do espectro eletromagnético do azul e vermelho são maiores.

Os valores de alta capacidade de retenção de carbono apresentado no mapeamento por meio de índices vegetativos em Unai pode contribuir para o entendimento de fatores ligados a preservação desses ambientes. Podendo ser correlacionada com balanço hídrico e retenção de água no solo em ambientes de veredas. O monitoramento por meio de

índices espectrais é importante, mas ao considerar o ambiente monitorado alguns pontos devem ser destacados, como os solos presentes nas regiões de Veredas. Esses solos possuem aspecto 'Glei'" (Silva e Rosa, 2019), nesses solos a drenagem é dificultada devido à estrutura pastosa, o que infere ambientes encharcados, com baixa atividade anaeróbica. Elevando a matéria orgânica, em associação a entrada de detritos vegetais, mantendo elevados estoques de carbono. Essa argumentação corrobora com resultados apresentados em pesquisas de (Pereira et al., 2018; Oliveira et al., 2019) aos quais concluíram o elevado estoque de carbono nos solos dos ambientes de veredas.

Os dados apresentados na tabela 3, também evidenciam a precisão de classificação do uso do solo, informando que as veredas estão presentes em 8.156,49 hectares. Denotando atenção especial a esses ambientes, principalmente pela região noroeste apresentar forte pressão agropecuária em áreas de preservação permanente. Os estudos de Wantzen et al., (2012) determinaram os estoques de carbono do solo em ecossistemas de vales de riachos na agropaisagem do Cerrado brasileiro no qual verificaram que as áreas úmidas ripárias (florestas ripárias lenhosas ou predominantemente cobertas de ervas Vereda) do Cerrado estocam altas quantidades de carbono no solo. Diante disso, foi verificado por meio do sensoriamento remoto multiespectral a dinâmica dos fluxos de CO<sub>2</sub> para áreas de Veredas. O CO<sub>2</sub> flux, segundo Silva e Baptista (2015), é eficiente para a modelagem do sequestro de carbono em diferentes ambientes, sendo visível uma proporcionalidade no sequestro e fluxo de carbono.

A capacidade de monitoramento de CO<sub>2</sub>Flux utilizando dados de Landsat também devem ser destacados, os ambientes de veredas mapeados em Unaí, conforme apresentados na figura 3 foram devidamente destacados, principalmente pela qualidade espectral dos satélites Landsat. Johnston e Barson (1993) argumentaram que a banda de infravermelho médio do Landsat TM era útil para mapear locais ou áreas úmidas. Draper et al., (2014) à avaliação precisa do estoque de carbono da turfeira tem efeitos significativos na compreensão do ciclo do carbono utilizaram imagens de sensoriamento remoto juntamente com dados de levantamento de campo para avaliar o estoque de carbono de turfeiras na Amazônia. Chinton et al., (2015) utilizaram dados do Landsat para estimar o balanço de carbono em turfeiras do Reino Unido e relataram resultados que estão em boa concordância com as estimativas de escala mais fina. Muitos cientistas também estimaram o armazenamento de carbono em manguezais (Hamdan et al., 2013; Zhang et al., 2014; Jones et al., 2015). Todos esses estudos foram significativos para o manejo da cobertura da terra e até mesmo para o ciclo do carbono.

Guo et al., (2017) concluíram que imagens espectrais podem ser usadas para classificação de áreas úmidas, além disso a biomassa vegetal em veredas é um importante indicador de sequestro de carbono pois controla o carbono que poderia ser potencialmente liberado para a atmosfera. Portanto, estimativas de biomassa em veredas com uso de

dados orbitais são essenciais para a compreensão do ciclo do carbono do ecossistema de áreas úmidas.

O mapeamento de regiões com potencial para o sequestro de carbono é extremamente importante, a combinação dos dados de imagens espectrais dos satélites orbitais e índices de estimativa de capacidade da vegetação em sequestrar carbono foi essencial para a caracterização no município de Unai.

## 4 | CONCLUSÃO

A formação de índices vegetativos em imagens Landsat foi suficiente para o mapeamento do potencial de sequestro de carbono em Veredas no município de Unai -MG.

Ao analisar a capacidade da vegetação das veredas no sequestro de carbono por meio dos índices vegetativos, conclui-se que as áreas de veredas são promissoras contribuindo com o fluxo de carbono sendo consideradas reguladoras das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, 22(6), 711-728.

Baptista, G. M. M (2003). Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e HYPERION. In: XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05- 10 abril 2003. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.

Chen, Y., Guerschman, J. P., Cheng, Z., & Guo, L. (2019). Remote sensing for vegetation monitoring in carbon capture storage regions: A review. *Applied energy*, 240, 312-326.

Crichton, K. A., Anderson, K., Bennie, J. J., & Milton, E. J. (2015). Characterizing peatland carbon balance estimates using freely available Landsat ETM+ data. *Ecohydrology*, 8(3), 493-503.

da Silva, L. A. P., Veloso, G. A., & Leite, M. E. (2022). Estimativa do sequestro de carbono em diferentes usos e coberturas do solo em áreas do bioma cerrado, norte de Minas Gerais. *Geosul*, 37(81), 381-409.

Draper, F. C., Roucoux, K. H., Lawson, I. T., Mitchard, E. T., Coronado, E. N. H., Lähteenoja, O., & Baker, T. R. (2014). The distribution and amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124017.

Faria, O. C. O., Torres, G. N., Di Raimo, L. A. D. L., & Couto, E. G. (2023). Estimativa do estoque de carbono no solo via espectroscopia de reflectância difusa (vis/nir) sensoriamento remoto aéreo e orbital. *Revista Caatinga*, 36(3), 675-689.

Gong, Y., Ji, X. F., Hua, Y. T., Zhang, Y. L., & Li, N. (2020). Research progress of CO<sub>2</sub> flux in forest ecosystem based on eddy covariance technique: a review.

Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. (2017). A review of wetland remote sensing. *Sensors*, 17(4), 777.

- Hamdan, O., Khairunnisa, M. R., Ammar, A. A., Hasmadi, I. M., & Aziz, H. K. (2013). Mangrove carbon stock assessment by optical satellite imagery. *Journal of Tropical Forest Science*, 554-565.
- Hu, S., Niu, Z., Chen, Y., Li, L., & Zhang, H. (2017). Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. *Science of the total environment*, 586, 319-327.
- Hu, T., Zhang, Y., Su, Y., Zheng, Y., Lin, G., & Guo, Q. (2020). Mapping the global mangrove forest aboveground biomass using multisource remote sensing data. *Remote sensing*, 12(10), 1690.
- Inácio, M. D. S. (2022). *Gestão florestal para o sequestro de carbono—o caso da Tapada Nacional de Mafra* (Doctoral dissertation, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa).
- Johnston, R. M., & Barson, M. M. (1993). Remote sensing of Australian wetlands: An evaluation of Landsat TM data for inventory and classification. *Marine and Freshwater Research*, 44(2), 235-252.
- Jones, T. G., Ratsimba, H. R., Ravaoarinorotsihoarana, L., Cripps, G., & Bey, A. (2014). Ecological variability and carbon stock estimates of mangrove ecosystems in northwestern Madagascar. *Forests*, 5(1), 177-205.
- Malerba, M. E., de Paula Costa, M. D., Friess, D. A., Schuster, L., Young, M. A., Lagomasino, D., ... & Macreadie, P. (2023). Remote sensing for cost-effective blue carbon accounting. *Earth-Science Reviews*, 238, 104337.
- Manzato, C. L. (2018). Estimativa de biomassa e estoque de carbono na cultura do eucalipto por meio de sensoriamento remoto.
- Mesquita, M. F. D. (2024). Sensoriamento remoto para estimativa de sequestro de carbono: uma revisão bibliométrica.
- Moreira, A. T., dos Santos, E. C., Nobrega, G. T., Regina, S., & de Carvalho, B. (2022). O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. *Revista Educação em Foco*, 14, 22-27.
- Mourão, M. A. A., Soares, A. G., Simões, E. J. M., Beato, D. A. C., Viana, H. S., & De Brito, R. M. D. (2001). *Caracterização Hidrogeológica Do Município De Unaí*. Cprm; Comig.
- Oliveira, E. S., Reatto, A., & Roig, H. L. (2017). Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 32(1/2), 71-93
- Oliveira, C. P. D., Francelino, M. R., Daher, M., Leles, P. S. D. S., & Andrade, F. C. D. (2019). Comparação de modelos estatísticos para estimativa da biomassa de árvores, e estimativa do estoque de carbono acima do solo em Cerrado. *Ciência Florestal*, 29, 255-269.
- Oliveira, E. R. F.; Neto, J. S. Perfil das cooperativas agropecuárias no Noroeste de Minas Gerais. *Colóquio-Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 19, n. 1, jan/mar, p. 261-280, 2022.
- Pechanec, V., Stržinec, F., Purkyt, J., Štěrbová, L., & Cudlín, P. (2017). Carbon stock in forest aboveground biomass—comparison based on Landsat data. *Central European Forestry Journal*, 63(2-3), 126-132.
- Pereira, T. T. C., & de Pádua Soares, L. (2018). Veredas do Triângulo Mineiro: estudos de solos e significância socioambiental. *Revista Geografica Academica*, 12(2), 138-152.

- Porto, K. C. N., Nunes, Y. R. F., & Ribeiro, L. M. (2018). The dynamics of recalcitrant seed banks of *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) reveal adaptations to marsh microenvironments. *Plant ecology*, 219, 199-207.
- Rahman, A. F., Gamon, J. A., Fuentes, D. A., Roberts, D. A., & Prentiss, D. (2001). Modeling spatially distributed ecosystem flux of boreal forest using hyperspectral indices from AVIRIS imagery. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D24), 33579-33591.
- Rahman, A. F., Gamon, J. A., Fuentes, D. A., Roberts, D., Prentiss, D., & Qiu, H. (2000, February). Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In AVIRIS Workshop. Pasadena: JPL/NASA.
- Ribeiro, B. T., Nascimento, D. C., Curi, N., Guilherme, L. R. G., Costa, E. T. D. S., Lopes, G., & Carneiro, J. P. (2019). Assessment of trace element contents in soils and water from Cerrado wetlands, Triângulo Mineiro Region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43, e0180059.
- Salazar, R. C. (2016). *Forestry for a low-carbon future: Integrating forests and wood products in climate change strategies*. Rome: Fao Forestry Paper. Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- Santos, C. V. B. D. (2017). Modelagem espectral para determinação de fluxo de CO<sub>2</sub> em áreas de caatinga preservada e em regeneração.
- Santos, M. P. D. (2021). Estimativa de estoques de carbono da biomassa para áreas de Caatinga de Pernambuco.
- Shukla, P. R., Skeg, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., ... & Malley, J. (2019). *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.
- Silva, M. A., & dos Anjos Lacerda, C. S. (2021). Análise do sequestro de carbono na região do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros utilizando técnicas de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geomática*, 9(3), 251-270.
- Silva, S. C. P. D., & Baptista, G. M. D. M. (2015). Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração eo fluxo de CO<sub>2</sub> em diferentes ambientes na amazônia brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(2), 354-370.
- Usgs, 2024. - United States Geological Survey.
- van Wesemael, B., Chabrillat, S., Sanz Dias, A., Berger, M., & Szantoi, Z. (2023). Remote Sensing for Soil Organic Carbon Mapping and Monitoring. *Remote Sensing*, 15(14), 3464.
- Wantzen, K. M., Couto, E. G., Mund, E. E., Amorim, R. S., Siqueira, A., Tielbörger, K., & Seifan, M. (2012). Soil carbon stocks in stream-valley-ecosystems in the Brazilian Cerrado agroscape. *Agriculture, ecosystems & environment*, 151, 70-79.
- Zhang, X., Huang, X., Zhao, X., & Lu, R. (2010, November). Impacts of land use change on the vegetation carbon storage in the region around Taihu Lake, China. In *Sixth International Symposium on Digital Earth: Data Processing and Applications* (Vol. 7841, pp. 353-362). SPIE.



Zhang, Z., Huo, L., Su, Y., Shen, H., & Yang, G. (2024). Estimation of Corn Net Primary Productivity and Carbon Sequestration Based on the CASA Model: A Case Study of the Fen River Basin. *Sustainability*, 16(7), 2942.

# COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO DE ARGAMASSAS COLANTES INCORPORADAS COM RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

*Data de submissão: 18/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Marilucia dos Santos Silva**

Laboratório de Engenharia Civil (LECIV),  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)  
Campos dos Goytacazes – RJ

### **Niander Aguiar Cerqueira**

Laboratório de Engenharia Civil (LECIV),  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)  
Campos dos Goytacazes – RJ

### **Jonas Alexandre**

Laboratório de Engenharia Civil (LECIV),  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)  
Campos dos Goytacazes – RJ

### **Mayara Silva de Almeida**

Laboratório de Engenharia Civil (LECIV),  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro (UENF)  
Campos dos Goytacazes – RJ

### **Euzébio Bernabé Zanelato**

Instituto Federal Fluminense (IFF)  
Campos dos Goytacazes, RJ

**RESUMO:** Argamassas colantes, compostas por cimento Portland, agregado miúdo e aditivos, são utilizadas no assentamento

de revestimentos cerâmicos e pedras, classificadas como ACI, ACII ou ACIII. Este estudo analisou a viabilidade de produzir argamassas substituindo parcialmente o agregado miúdo por resíduos da indústria de rochas ornamentais da empresa Santa Alice Granitos (ES). As proporções de substituição testadas foram 0% (referência), 10%, 20% e 30%, usando traço 1:2. No estado fresco, o aumento de resíduo reduziu o teor de ar incorporado e aumentou a densidade. No estado endurecido, argamassas com maior substituição apresentaram melhor resistência à aderência à tração. A substituição de 30% destacou-se, alcançando 0,97 MPa de resistência à aderência com cura normal, atendendo à norma de 0,5 MPa e classificando-se como ACI ou ACII. Os resultados confirmam o potencial de reutilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas colantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adhesive mortar; Fine aggregate; Waste.

**ASBTRACT:** Adhesive mortars, composed of Portland cement, fine aggregate, and additives, are used for installing ceramic tiles and stones, classified as ACI, ACII, or ACIII. This study analyzed the feasibility of

producing mortars by partially replacing the fine aggregate with waste from the ornamental stone industry, specifically from the Santa Alice Granitos company (ES). The substitution ratios tested were 0% (reference), 10%, 20%, and 30%, using a 1:2 mix ratio. In the fresh state, the increase in waste content reduced the air-entrained content and increased the density. In the hardened state, mortars with higher substitution rates demonstrated better tensile adhesion strength. The 30% substitution stood out, achieving 0.97 MPa of tensile adhesion strength under standard curing conditions, exceeding the required 0.5 MPa threshold and qualifying as ACI or ACII. The results confirm the potential for reusing ornamental stone waste in adhesive mortars.

**KEYWORDS:** Adhesive mortar; Fine aggregate; Waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

As argamassas desempenham um papel fundamental na construção civil, sendo utilizadas para diversas finalidades, como revestimento de paredes e tetos, execução de contrapisos e assentamento de placas cerâmicas ou pedras de revestimento (Travincas *et al.*, 2023). Dentre elas, as argamassas colantes são compostas por aglomerantes hidráulicos, agregados minerais e aditivos, formando uma massa viscosa e aderente quando misturadas com água (Fiorito, 2010; Modler, Mahamad, Lubeck, 2021; ABNT NBR 14081, 2012). Sua aplicação é regulamentada pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012), classificando-as em ACI, ACII e ACIII conforme suas características de aderência, tempo em aberto e deslizamento.

A incorporação de aditivos poliméricos melhora propriedades como retenção de água e resistência mecânica, reduzindo manutenções e aumentando a durabilidade das construções (Inceoglu *et al.*, 2021; Nicolini *et al.*, 2022). O crescimento da verticalização urbana impulsiona a demanda por argamassas colantes, especialmente para revestimentos cerâmicos em fachadas, valorizados pela estética e resistência. No entanto, variações climáticas e mecânicas podem causar patologias, como o desprendimento de placas, exigindo avanços tecnológicos no setor (Ribeiro *et al.*, 2023).

Nesse contexto, a pesquisa investigou a substituição parcial do agregado miúdo por resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais, visando alternativas sustentáveis e a redução do impacto ambiental desse setor. Foram analisadas propriedades no estado fresco (retenção de água, teor de ar incorporado, densidade de massa e deslizamento).

A metodologia incluiu a caracterização dos materiais, formulação das argamassas com diferentes teores de substituição e ensaios normativos para avaliar seu desempenho. O estudo destaca a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de resíduos de rochas ornamentais na formulação de argamassas colantes, contribuindo para a sustentabilidade da construção civil e a valorização de resíduos industriais.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a realização desta revisão sistemática, investigou-se a viabilidade técnica e econômica da incorporação de resíduos de rochas ornamentais em argamassas colantes. Foram selecionados estudos publicados nos últimos 20 anos, em inglês, português ou espanhol, que abordassem esse tema e apresentassem dados experimentais, enquanto aqueles focados em outros tipos de resíduos ou sem abordagem experimental foram excluídos. As pesquisas foram conduzidas nas bases de dados Science Direct, Portal de Periódicos Capes, Scielo e Google Scholar, utilizando combinações de palavras-chave como “resíduos de rochas ornamentais”, “argamassas colantes”, “sustentabilidade” e “construção civil”.

### 2.1 Propriedades das argamassas

As argamassas, compostas por aglomerantes, agregado miúdo, água e, ocasionalmente, aditivos ou adições químicas e minerais (ABNT NBR 13281, 2005), possuem diversas funções na construção civil, como assentamento de alvenaria, revestimentos e regularização de pisos. Suas propriedades variam conforme a aplicação. Para argamassas de assentamento, destacam-se a trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações. No caso de argamassas de revestimento, também são avaliadas a retração e a permeabilidade à água. Já nas argamassas colantes, as principais características são trabalhabilidade, aderência ao substrato e absorção de deformações (Carasek, 2010).

#### 2.1.1 *Trabalhabilidade*

A trabalhabilidade é uma propriedade essencial das argamassas no estado fresco, influenciando sua mistura, transporte, aplicação, consolidação e acabamento de forma homogênea (Carasek, 2010). Ela está relacionada a características como retenção de água, tempo em aberto, deslizamento e adesão inicial, descritas na Tabela 1.

Propriedade	Definição
Retenção de água	Propriedade associada a capacidade da argamassa no estado fresco manter sua trabalhabilidade, quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
Tempo em aberto	Período em que a argamassa é aplicada sob o substrato e o tempo em que ela perde a capacidade de proporcionar a aderência.
Deslizamento	Propriedade que determina o deslocamento da peça cerâmica após a sua aplicação sob o substrato.
Adesão inicial	Capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base.

**Tabela 1:** Propriedades correlacionadas a trabalhabilidade das argamassas colantes (Adaptada de CARASEK, 2010).

A trabalhabilidade das argamassas, conforme Alonso *et al.* (2017), refere-se à capacidade de fluir e se adaptar às superfícies irregulares dos componentes de alvenaria, sendo fundamental para a produtividade e qualidade na aplicação. Apesar de sua aparente simplicidade, a trabalhabilidade da argamassa de cimento envolve uma ciência complexa, com dificuldades para caracterizar e medir essa propriedade de forma abrangente. Métodos observacionais e empíricos ainda prevalecem para avaliar a trabalhabilidade e o desenvolvimento de propriedades mecânicas (Justo-Reinoso *et al.* 2019).

### 2.1.2 Aderência

A aderência é uma característica fundamental para a durabilidade de revestimentos cerâmicos, definida pela NBR 13528 (ABNT, 2019) como a resistência às tensões normais e tangenciais na interface entre o revestimento e o substrato. Ela não depende apenas da argamassa colante, mas da interação entre todas as camadas do sistema.

Nos substratos porosos, o processo de aderência ocorre em etapas: adesão inicial pela sucção capilar, transporte de materiais para a interface, equilíbrio das umidades, e hidratação do cimento, formando uma ligação coesiva (Faiyas *et al.* 2019). Segundo Carasek (1996), esse fenômeno é mecânico, com a pasta de cimento entrando nos poros e formando hidróxidos e silicatos para ancoragem. No entanto, substratos muito porosos podem provocar hidratação insuficiente, enquanto substratos pouco porosos dificultam a penetração da pasta, ambos prejudicando a aderência (Pereira, Bauer, 2013; Zanelato, 2019).

Gado (2022) explica que, no processo de hidratação, silicatos e aluminatos reagem com a água, enquanto polímeros dispersos formam um filme de látex que reforça a microestrutura da argamassa, aumentando adesão, flexibilidade, e desempenho, mesmo sob diferentes condições climáticas.

### 2.1.3 Capacidade de absorver deformações

A capacidade de absorver deformações é essencial para a durabilidade de revestimentos cerâmicos, sendo diretamente influenciada pela retenção de água da argamassa. Essa retenção permite uma hidratação gradual do cimento, garantindo resistência e aderência adequadas. Perdas rápidas de água comprometem a aderência, deformabilidade e resistência mecânica.

De acordo com Azevedo *et al.* (2018), argamassas aplicadas em substratos de alta absorção devem ter alta retenção de água para evitar que o substrato absorva a água necessária à hidratação. Em substratos de baixa absorção, a retenção deve ser baixa para manter o transporte de água e assegurar a aderência.

A deformabilidade deve ser compatível com as tensões atuantes para preservar a funcionalidade, sendo influenciada por fatores como composição química, microestrutura

e defeitos do material. O módulo de elasticidade mede a relação entre tensão aplicada e deformação suportada: valores elevados indicam menor deformação e maior resistência a cargas sem danos permanentes.

#### 2.1.4 Geração e caracterização dos resíduos de rochas ornamentais

O beneficiamento de rochas ornamentais, que inclui etapas como corte, polimento e acabamento, resulta na produção de grandes volumes de resíduos, principalmente na forma de lama abrasiva. Estudos indicam que esses resíduos são compostos predominantemente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), com presença de óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e cálcio ( $\text{CaO}$ ), derivados do desgaste de equipamentos e uso de aditivos durante o processamento. A caracterização física desses resíduos revela uma granulometria fina, o que sugere seu potencial uso como material pozolânico ou filer em matrizes cimentícias.

#### 2.1.5 Aplicação dos Resíduos em Argamassas Colantes

Diversas pesquisas têm investigado a substituição parcial de componentes tradicionais das argamassas colantes por resíduos de rochas ornamentais:

- **Substituição da Areia por Resíduo:** Estudos como o de Calmon *et al.* (1997) avaliaram a substituição da areia por resíduo de granito em diferentes proporções. Os resultados indicaram que a incorporação do resíduo melhorou propriedades mecânicas, como resistência à compressão, atribuídos ao efeito filer que reduz a porosidade da matriz cimentícia.
- **Substituição do Cimento por Resíduo:** Pesquisas como a de Corinaldesi *et al.* (2010) analisaram a substituição parcial do cimento por resíduo de mármore. Observou-se que teores de substituição de até 10% não comprometem significativamente a resistência à compressão das argamassas, além de melhorar a trabalhabilidade devido à finura do resíduo.

#### 2.1.6 Propriedades no Estado

A incorporação de resíduos de rochas ornamentais afeta diversas propriedades das argamassas:

- **Estado Fresco:** A adição de resíduos pode influenciar a retenção de água, teor de ar incorporado e consistência das argamassas. Alguns estudos relataram redução na trabalhabilidade, atribuída à alta finura e área superficial dos resíduos, enquanto outros observaram melhora nessa propriedade devido ao efeito lubrificante das partículas finas.
- **Durabilidade e Comportamento a Longo Prazo**

A durabilidade das argamassas com resíduos incorporados é uma preocupação central. Estudos como o de Vardhan *et al.* (2015) avaliaram a resistência dessas argamassas a ciclos de molhagem e secagem, bem como a ataques químicos.

Os resultados indicaram que teores moderados de resíduo não comprometem a durabilidade, mas ressaltam a necessidade de pesquisas adicionais para avaliações a longo prazo.

- **Análise Econômica e Sustentabilidade**

A utilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas colantes apresenta vantagens econômicas, como a redução de custos associados à aquisição de matérias-primas e à disposição de resíduos. Além disso, promove a sustentabilidade ao diminuir a extração de recursos naturais e o impacto ambiental relacionado ao descarte inadequado dos resíduos.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais utilizados

O cimento Portland CP V-ARI foi selecionado por sua elevada resistência inicial, proporcionando melhor desempenho às argamassas.

O agregado miúdo utilizado foi areia natural e lavada, coletada no Rio Paraíba do Sul (Campos dos Goytacazes – RJ), com granulometria controlada conforme a ABNT NBR 7211:2009. Classificada como areia média pela NBR 17054 (2022b) foi peneirada em peneira #16 (1,18 mm).

O resíduo de rocha ornamental, proveniente do beneficiamento de granitos da empresa Santa Alice Granitos (Cachoeiro do Itapemirim – ES), foi seco, peneirado para ajuste granulométrico e caracterizado conforme a ABNT NBR 10004:2004, sendo incorporado ao estudo para avaliação de seu impacto nos resultados.

Aditivos químicos: Incorporadores de ar e modificadores de viscosidade, utilizados para controle das propriedades no estado fresco, seguindo as recomendações da ABNT NBR 11768:2019. Os aditivos químicos utilizados foram éter de celulose (HEC) e polivinil álcool (PVA), selecionados para aprimorar o desempenho das argamassas colantes tanto no estado fresco quanto endurecido.

A água utilizada foi potável, proveniente do sistema público de Campos dos Goytacazes – RJ, e atendeu à ABNT NBR 15900:2010, garantindo a hidratação do cimento e a trabalhabilidade da mistura.

Antes da preparação das argamassas, os materiais foram caracterizados para garantir sua adequação ao estudo. A granulometria foi determinada conforme a ABNT NBR 7211:2009 para a areia e a ABNT NBR 10004:2004 para o resíduo de rocha. A massa específica foi obtida por picnometria e a composição química foi avaliada por fluorescência de raios X (FRX) para identificar óxidos e impurezas. Os ensaios granulométricos e de espectrometria de raios X permitiram caracterizar as propriedades dos materiais.

As argamassas foram preparadas com traço fixo de 1:2 (cimento: agregado miúdo), substituindo parcialmente o agregado por resíduo de rocha ornamental (0%, 10%, 20% e 30% em massa). O processo incluiu secagem dos resíduos a 105°C por 24 horas, pesagem precisa dos materiais, mistura seca dos sólidos por 2 minutos, adição de água e mistura por 3 minutos, seguido de homogeneização até obter massa uniforme.

A escolha desse traço baseou-se em sua ampla aplicação na produção de argamassas colantes e foi embasada no estudo de Azevedo *et al.*, (2017).

A pesquisa avaliou os efeitos da substituição parcial da areia natural pelo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais. As proporções de substituição em massa do agregado miúdo foram de 0% (referência), 10%, 20% e 30, conforme indicado na tabela 2.

Nomenclatura	Teor de substituição (%)	Relação água/cimento	Traço em massa (Cimento:Areia:Resíduo)
ACR	0	0,9	1:2:0
AC10	10	0,9	1:1,8:0,2
AC20	20	0,9	1:1,4:0,4
AC30	30	0,9	1:1,4:0,6

Tabela 2: Referência de traços utilizados.

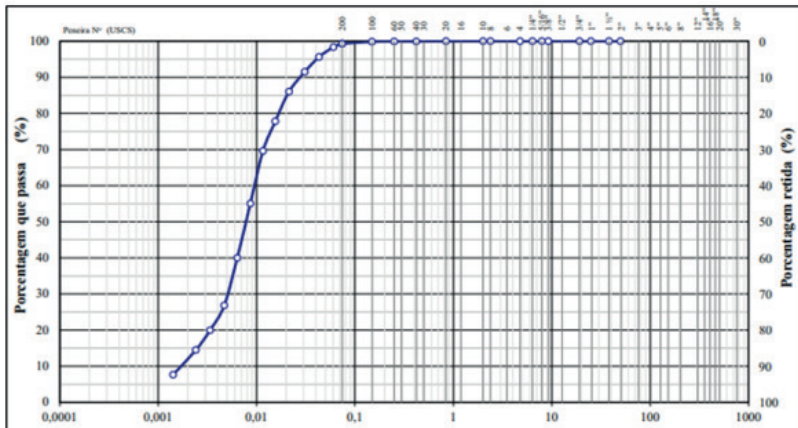
Os ensaios realizados para avaliar as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido seguiram as metodologias estabelecidas pelas normas da ABNT. no estado fresco, o ensaio de retenção de água (NBR 13277:2005) determinou a capacidade da argamassa de manter a água de amassamento contra a sucção do substrato. a densidade de massa foi determinada conforme a ABNT NBR 13278:2005, enquanto o teor de ar incorporado foi verificado com um medidor de ar, seguindo a metodologia padronizada. o ensaio de deslizamento (ABNT NBR 14081-4:2012) avaliou a mobilidade das placas cerâmicas aplicadas sobre a argamassa.

## 4 | RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Ensaio de Granulometria e Espectrometria de Raio x

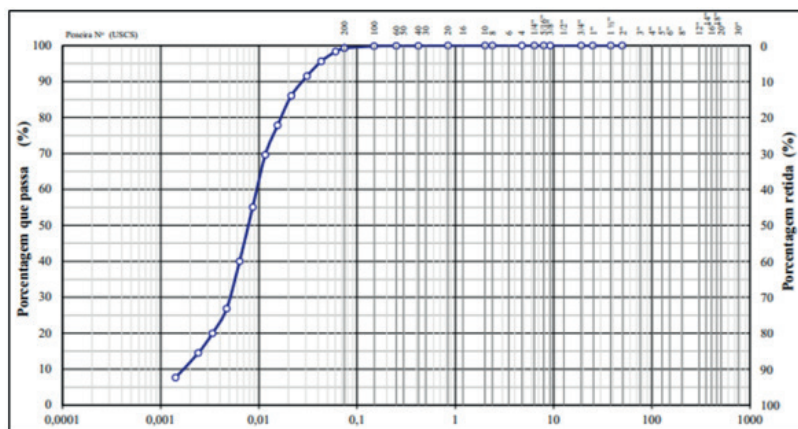
A Figura 1 apresenta a curva granulométrica da areia.





**Figura 1:** Curva granulométrica da areia.

Cerca de 67% da areia foi classificada como média, 15% como fina e 18% como grossa, características influenciadas pelo local e período de extração. A Figura 2 mostra a curva granulométrica do resíduo de rocha ornamental.



**Figura 2:** Curva granulométrica do resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais.

O ensaio mostrou que 87% do material está na fração silte, 2% na fração areia fina e 10% na fração argila, resultados que corroboram estudos anteriores, como o de Gado (2022), indicando que resíduos de mármore são predominantemente silte (86%) e areia fina (14%).

O resíduo de rochas ornamentais foi submetido à análise química, sendo os resultados expressos em óxidos percentuais apresentados na Tabela 3.

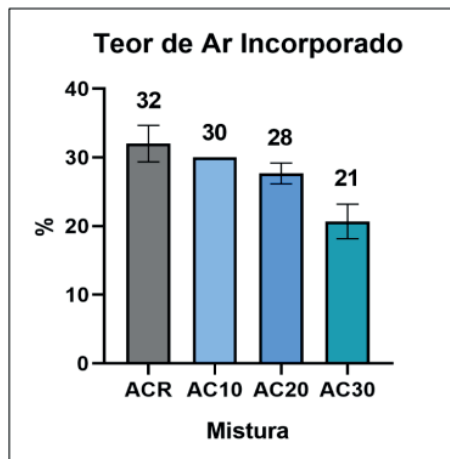
Composto	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	ZrO <sub>2</sub>
Composição em massa (%)	84,45	6,09	4,32	1,75	1,49	1,29	0,54	0,03	0,01	0,01

**Tabela 3:** Elementos na forma de óxidos presentes no resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.

O material apresentou alto teor de dióxido de silício (84,45%), possivelmente originado de feldspatos, minerais micáceos (biotita e mica muscovita) e sílica livre presentes em rochas silicáticas.

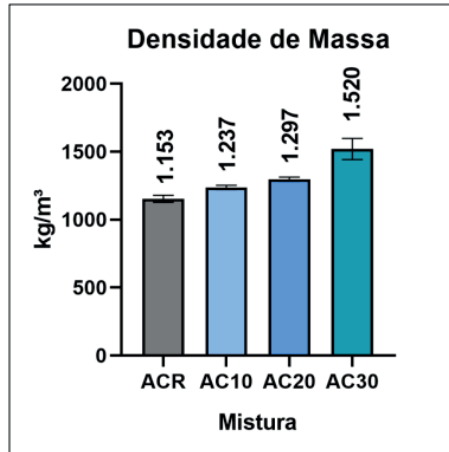
#### 4.1.1 Densidade de Massa e Teor de Ar Incorporado

Os ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas colantes seguiram a NBR 13278 (ABNT, 2005), com os resultados de teor de ar incorporado apresentados na Figura 3.



**Figura 3:** Resultados do ensaio de teor de ar incorporado.

Observou-se uma redução gradual no teor de ar incorporado com o aumento do resíduo de rochas ornamentais nas misturas. A ACR apresentou 32% de ar incorporado, enquanto as misturas AC20 e AC30 registraram 28% e 21%, respectivamente, comportamento atribuído ao maior percentual de finos. A AC30 destacou-se como a mistura com menor teor de ar incorporado. Os resultados da densidade de massa estão apresentados na Figura 4.

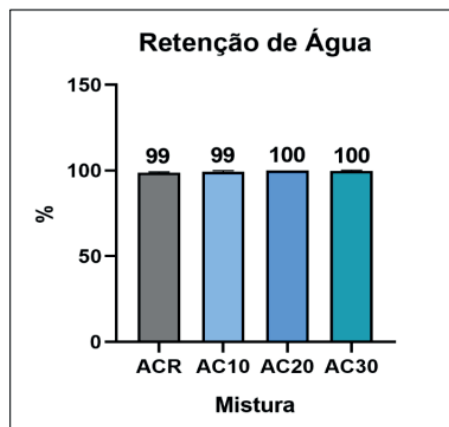


**Figura 4:** Resultados do ensaio de densidade de massa.

Os ensaios de densidade de massa mostraram um aumento gradual à medida que se incorporou resíduo de granulometria fina nas misturas, sendo a AC30 a mais densa (1.520 kg/m³) e com o menor teor de ar incorporado. A análise revelou que a adição de finos preenche os espaços vazios, aumentando a densidade de massa e reduzindo o ar incorporado, comportamento também observado em estudos de Kherraf et al. (2022). Esses autores destacaram que a substituição de areia natural por resíduos de mármore reduz o ar incorporado devido à capacidade plastificante do mármore. Assim, a incorporação de resíduos melhorou as propriedades das argamassas, especialmente no estado endurecido.

#### 4.1.2 Retenção de Água

O ensaio de retenção de água foi realizado conforme a NBR 13277 (2016), e os resultados são apresentados na Figura 5.



**Figura 5:** Resultado do ensaio de retenção de água.

Os resultados indicaram que a retenção de água nas argamassas não sofreu mudanças significativas. As misturas ACR e AC10 apresentaram os menores valores, enquanto AC20 e AC30 registraram leve aumento, tornando-se as que retêm mais água. Esse comportamento é atribuído à incorporação de finos, que aumenta a área superficial e favorece maior retenção de água. Estudos, como o de Botelho *et al.* (2023), destacam que partículas menores têm maior área específica, resultando em poros mais finos e maior absorção. Buyuksagis *et al.* (2017) também observaram aumento na retenção de água ao substituir dolomita por resíduo de rocha em argamassas, especialmente nas proporções de 20% e 40%. Os resultados obtidos corroboram o comportamento esperado para misturas com altos teores de resíduos finos, alinhando-se aos achados de Buyuksagis *et al.* (2017).

#### 4.1.3 Deslizamento

O ensaio de deslizamento foi realizado seguindo os procedimentos indicados na NBR 14081-5 (ABNT, 2012). Os resultados obtidos na execução do ensaio estão indicados na Figura 6.

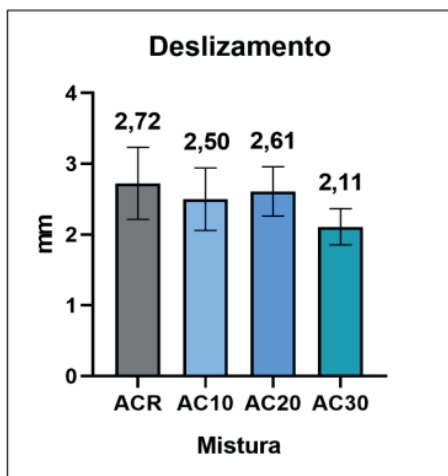


Figura 6: Resultado do ensaio de deslizamento.

Os resultados do ensaio de deslizamento mostraram que nenhuma argamassa atingiu o limite de 2 mm exigido pela NBR 14081-4 (2012). A AC30 apresentou o menor deslizamento (2,11 mm), próximo ao exigido pela norma, enquanto a ACR teve o maior (2,71 mm). A adição de resíduos reduziu significativamente o deslizamento, comportamento atribuído ao aumento da densidade devido ao preenchimento dos vazios.

Apesar do uso de HEC (hidróxetil celulose) em 2,5% da massa do cimento para melhorar a coesão, o aditivo não reduziu completamente o deslizamento, embora tenha beneficiado outras propriedades. Esses resultados são consistentes com a densidade de massa e o teor de ar incorporado observados.

Estudo de Gado (2022) mostrou que a adição de resíduos de mármore e granito entre 10% e 15% aumentou a resistência ao deslizamento, mas reduções ocorreram em maiores porcentagens devido ao aumento da água na mistura, impactando a flacidez do material em superfícies verticais.

#### 4.1.4 Tempo aberto

O ensaio de tempo em aberto foi realizado conforme a NBR 14081-3 (ABNT, 2012), e os resultados estão apresentados na Figura 7.

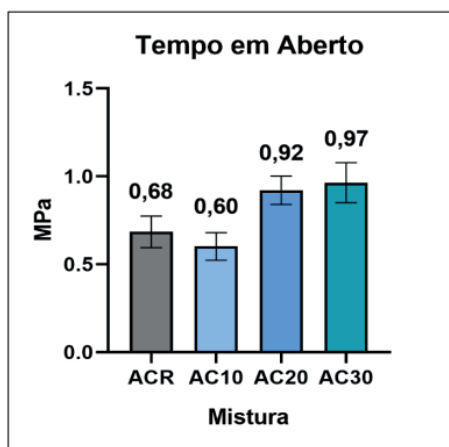


Figura 7: Resultados do ensaio de tempo em aberto.

O tempo em aberto das argamassas refere-se ao período em que o material permanece trabalhável para fixação dos revestimentos. Conforme a NBR 14081, esse tempo deve atender a uma resistência mínima de 0,5 MPa após 15 minutos em condições padrão. Os resultados do ensaio mostraram que as argamassas AC10, AC20 e AC30 apresentaram aumento significativo na resistência à aderência à tração em comparação com a ACR, destacando a influência dos resíduos de rochas ornamentais, especialmente na AC30, que apresentou o melhor desempenho.

Segundo Gado (2022), o tempo em aberto é afetado pelo tipo e pela dosagem de éter de celulose na mistura, influenciando a retenção de água e a resistência sob diferentes condições de aplicação. Embora Gado tenha observado que substituições acima de 10% não atingiram a resistência exigida, esta pesquisa apresentou resultados distintos, com ganhos significativos de resistência com maiores percentuais de resíduo.

Estudos de Gokhan *et al.* (2019) sobre pó de pedreiras também corroboram este comportamento, mostrando que o uso de partículas finas melhora tanto a reologia no estado fresco quanto a resistência no estado endurecido, evidenciando a eficácia da incorporação de resíduos em misturas de argamassas.

A incorporação de resíduos de rochas ornamentais em argamassas colantes mostra-se promissora, desde que sejam observados limites adequados de substituição e realizadas caracterizações detalhadas dos materiais. A variabilidade na composição química e física dos resíduos exige uma abordagem cautelosa, com adaptações nas formulações das argamassas para garantir o desempenho desejado. Além disso, é fundamental considerar aspectos regionais, como a disponibilidade dos resíduos e as normas técnicas locais.

## 5 | CONCLUSÃO

A presente pesquisa evidencia o potencial técnico e econômico da utilização de resíduos de rochas ornamentais em argamassas colantes. A substituição parcial de componentes tradicionais por esses resíduos pode melhorar propriedades mecânicas e contribuir para a sustentabilidade na construção civil.

A pesquisa avaliou a viabilidade do uso desses resíduos na produção de argamassas colantes, constatando que a substituição parcial da areia não comprometeu as propriedades analisadas, contribuindo para o aumento da resistência à aderência à tração. Os principais resultados indicam que o resíduo atuou adequadamente como agregado miúdo, reduziu gradualmente o teor de ar incorporado e diminuiu o deslizamento das argamassas. A substituição de 30% apresentou os melhores resultados, atingindo 2,11 mm de deslizamento, próximo ao exigido pela norma (2 mm). Apesar dos resultados promissores, futuras pesquisas devem aprofundar a análise da durabilidade e do comportamento a longo prazo dessas argamassas, além de avaliar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida dos materiais produzidos.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, norma Brasileira Regulamentadora. 14081-1: **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas**. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

---- NBR 13281: **Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos**. Rio de Janeiro, 2005.

---- NBR 13528: **Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração – parte 2: aderência ao substrato**. Rio de Janeiro, 2019.

---- NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

---- NBR 17054: **Determinação da composição granulométrica – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2022.

---- NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

---- NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**: Rio de Janeiro, 2005.

---- NBR 14081-1: **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas**. Rio de Janeiro, 2012.

---- NBR 14081-4: **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – determinação a resistência de aderência à tração**: Rio de Janeiro, 2012.

---- NBR 14081-5: **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – parte 5: Determinação do deslizamento**. Rio de Janeiro, 2012.

---- NBR 7211:2009. **Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

---- NBR 10004:2004. **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

---- NBR 11768:2019. **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland e argamassa – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2019.

---- NBR 15900:2010. **Água para amassamento do concreto**. Rio de Janeiro, 2010.

---- NBR 13277:2005. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

---- NBR 13278:2005. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Determinação do teor de ar incorporado e densidade de massa**. Rio de Janeiro, 2005.

---- NBR 14081-3:2012. **Argamassa colante industrializada – Parte 3: Determinação do tempo em aberto**. Rio de Janeiro, 2012.

---- NBR 14081-4:2012. **Argamassa colante industrializada – Parte 4: Determinação do deslizamento**. Rio de Janeiro, 2012.

Alonso, M. M., Gismera, S., Blanco, M. T., Lanzón, M., Puertas, F, (2017) **Alkaliactivated mortars: workability and rheological behavior**. Construction and Building Materials, v. 145, 576-587p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.020>.

Azevedo, A. R. G.; Alexandre, J.; Marvila, M. T.; Zanelato, E. B.; (2017) **Influence of incorporation of glass waste on the rheological properties of adhesive mortar**. construction and Building Materials, 359-368p. 2017.04.208. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat>.

Azevedo, A. R. G., França, B. R., Alexandre, J., Marvila, M. T., Zanelato, E. B., Xavier, G. C, (2018) **Influence of sintering temperature of a ceramic substrate in mortar adhesion for civil construction**. Journal of Building Engineering, v.19, 342–348p. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.05.026>.

Botelho, L. C. G., Xavier, G. C., Paes, A. L. C., Azevedo, A. R. G. (2023) **Lime replacement by finely ground clay from the north fluminense region of rj in mortar for coating walls and ceilings**. Journal of Materials Research and Technology Open access, v. 23, 5105-5114p. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.058>.

Buyuksagis, I. S.; Uygunoglu, T.; Tatar, E. (2017) **Investigation on the usage of waste marble powder in cement-based adhesive mortar**. *Construction and Building Materials*. v. 154, 734-742p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.014>.

CALMON, João Luiz; TRISTÃO, Fernando Avancini; LORDÉLLO, Fernando S. S.; DA SILVA, Sérgio A. C.; MATTOS, Flávio V. **Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. Anais [...]. Salvador: ANTAC, 1997.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T. R. **Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 24, n. 1, p. 113-117, 2010. Doi <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.08.013>

Carasek, H. (1996) **Aderência de argamassas a base de cimento portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação**. tese (Doutorado em engenharia civil) – São Paulo – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 285p.

Carasek, H.; Argamassas. In: Isaia, G. C. (2010) **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. v.1. São Paulo: Ibracon, 2010. p. 893-943.

Faiyas, A. P. A.; Erich, S. J. F.; Huinink, H. P.; Adan, O.C.G, (2019) **Understanding the water absorption from mhec modified glue mortar into porous tile: influence of predrying**. *Construction and Building Materials*, v. 217, 363-371p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.021>.

Fiorito, A. J. S. I. (2010) **manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 232p.

Gado, R. (2022) **The feasibility of recycling marble & granite sludge in the polymer modified cementitious mortars part a: In polymer-modified cementitious adhesive mortar**. *Process safety and environmental protection*, v. 159, 978-991p. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.01.059>.

Inceoglu, F., Mermer, N. K., Kirmizi, V., Tombas, G. (2021). **Influence of cement with different calcium sulfate phases on cementitious tile adhesive mortars: microstructure and performance aspects**. *Journal Internacional de Adesão e Adesivos*. v. 104, 102744p. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102744>.

Jo, Y.K., (2020). **Adhesion in tension of polymer cement mortar by curing conditions using polymer dispersions as cement modifier**. *Construction and Building Materials*.v. 242. 118134p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118134>.

Justo-Reinoso, I., Caicedo-Ramirez, A., Srubar, W. V., Hernandez, M. T. (2019) **Fine aggregate substitution with acidified granular activated carbon influences freshstate and mechanical properties of ordinary portland cement mortars**. *Construction and Building Materials*. v. 207, 59-69p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.063>.

Kherraf, L., Hebhouh, H., Abdelouahed, A., Boughamssa, W. (2022) **Comparative study on the performance of sand-based mortars from marble, floor tile and cinder block waste**. *Journal of Building Engineering*, v. 45, 103433p. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103433>.

Li, L., Liu, K., Chen, B., Wang, R. (2022) **Effect of cyclic curing conditions on the tensile bond strength between the polymer modified mortar and the tile**. *Case Studies in Construction Materials*, v. 17, 01531p. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01531>.



Modler, L. E. A., Mahamad, G., Lubeck, A. (2021). **Hardening process of polymeric adhesive mortars: approach by phase angle analysis from oscillatory rheometry.** Construction and Building Materials, v. 271, 121521p. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121521>.

Nicolini, A., Rodrigues, A. V., Braguança, S. R., Jacobi, M. M. (2022) **Evaluation of latex polymeric mortar properties for laying bricks in non-structural masonry.** Journal of Building Engineering, v. 59, 105080p. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105080>.

Pereira, C., Bauer, E, (2013) **Avaliação da perda de água de argamassas de revestimento por evaporação e por absorção do substrato.** in: simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas. 10, Anais. Fortaleza, SBTA.

Ribeiro, R. P., Sichieri, E. P., Alves, D. T., Xavier, G. C., Azevedo, A. G., Monteiro, S. N. (2023) **Adherence of brazilian dimension stones by mortar adhesion: influence of temperature.** Journal of Materials Research and Technology. v.24, 8547- 8557p. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.042>.

Travincas, R., Torres, I., Flores-Colen, I., Francisco, M., Bellei. (2023) **The influence of the substrate type on the performance of an industrial cement mortar for general use.** journal of building engineering, v. 73, 106784p. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106784>.

Zanelato, E. B. (2019) **Influência da superfície da superfície dos blocos cerâmicos na aderência de argamassas e proposta de uma nova morfologia de ancoragem.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 6-16p.

# ESTUDO DA SENSIBILIDADE DE UM SISTEMA OTIMIZADO DE MULTI-GERAÇÃO SIMPLES DE ENERGIA RENOVÁVEL COM PYTHON

---

*Data de submissão: 20/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Igor Francisco Tavares Soares**

Discente de graduação em Engenharia Elétrica - IFBA. Bolsista de Iniciação Científica do FAPESB/IFBA

### **Danielle Bandeira de Mello Delgado**

Professora do Curso de Engenharia Elétrica – IFBA

### **João Pedro Lima Dantas**

Discente de graduação em Engenharia Elétrica - IFBA

### **Josué Alves Araújo Neto**

Discente de graduação em Engenharia Elétrica - IFBA

essa temática, é possível notar também, segundo (Hasnaoui; Omari; Azzouz, 2022), que a principal preocupação referente a pesquisas sobre energias renováveis são os fatores climáticos e de estoque energético, pois os combustíveis fósseis, que são uma das principais fontes de energia, estão com suas reservas para acabar e além disso, os mesmos são os principais vilões quando se trata da poluição por emissão de poluentes e aumento do aquecimento global. Portanto, faz-se necessário pesquisas mais detalhadas sobre a transição energética.

No cenário que se constrói, trazendo para o tema de multi-geração, essa aplicação é promissora pois garante uma autonomia com a otimização dos gastos com energia elétrica da rede, garante maior eficiência energética e não polui o meio ambiente. Contudo, essa transição energética evidencia problemas complexos para a implementação desses novos modelos devido a dificuldade do dimensionamento das estruturas de modo a garantir o fluxo ótimo de energia em

## INTRODUÇÃO

No decorrer do tempo, pautas como energias renováveis, geração descentralizada, minigeração, multi-geração e sistemas autônomos de geração, estão cada vez mais presentes no cenário da produção de energia limpa, além de trazer garantia de redução de custos, autonomia e facilidade de operação para os usuários. No que concerne a

equilíbrio com investimentos e com ferramentas de controle eletrônico capazes de lidar com a comutação de consumo entre o sistema em questão e a rede elétrica, tornando-se relevantes os estudos aprofundados sobre os desafios desta, sobre o controle, logística, fatores de investimento e econômicos (Hasnaoui; Omari; Azzouz, 2022; Toughzaoui *et al*, 2023; Kong; Lyu; Miyatake, 2023).

Assim, com base nessas informações, cientistas estão cada vez mais nutrindo-se das técnicas de otimização devido a correlação da palavra com a aplicabilidade em âmbitos reais. Nesse aspecto, torna-se viável portanto a utilização dessas para tentar contornar os desafios gerados pelos sistemas de multi-geração como por exemplo a disposição ótima de equipamentos para geração própria, maximização de energia e redução de custos.

Baseado nisso, as técnicas de otimização clássicas tais como Programação Linear (PL) e derivações como Programação Linear Inteira (PLI) e Linear Inteira Mista respectivamente (PLIM), Heurísticas e Meta-Heurísticas, são alternativas interessantes para garantir a implementação desses sistemas no futuro. Nessa perspectiva, a PLIM é um modelo interessante para implementação para o caso citado, pois a mesma trabalha com constantes inteiras, fazendo-se assim analogia com equipamentos em um sistema de geração descentralizado hipotético além de apresentar melhor desempenho de resultados quando comparado com Heurísticas (Mohan *et al*, 2023). Além disso, segundo Belfiore e Fávero (2013), quando se trata da aplicação de otimização, é necessário a utilização de um conceito denominado Análise de Sensibilidade, que permite informações mais detalhadas acerca do ponto ótimo encontrado por essas técnicas de otimização, para assim conferir a viabilidade de implementação do referido sistema.

A partir dessas informações, acerca do tema multi-geração, agora com enfoque em sistemas residenciais, este trabalho tem como objetivos:

- Maximizar a capacidade de geração de energia de um sistema simples com a disposição ótima da quantidade de equipamentos para cada aplicação por meio de PLIM em códigos na linguagem python;
- Comparar os resultados antes e depois da mudança nos parâmetros operacionais do sistema residencial através da Análise de Sensibilidade;
- Checar a viabilidade da implementação do sistema ótimo robusto ao longo das mudanças nos parâmetros.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a elaboração do sistema simples, foi considerado o uso de painéis solares e caldeiras de biomassa, dispostos como as variáveis da formulação matemática, de modo a se obter a configuração ótima da quantidade de equipamentos para atender cinco fatores: Compensação de eletricidade residencial, eletricidade para gerir equipamentos

aquecedores, eletricidade para equipamentos resfriadores, energia térmica também para água quente, e ainda eletricidade para carregamento de carro elétrico.

As constantes envolvidas foram divididas em operacionais, delimitadoras e energéticas. As constantes operacionais foram obtidas através dos *datasheets* dos equipamentos, as delimitadoras e energéticas foram obtidas com base nas atividades econômicas e estruturais de um complexo residencial de 20 apartamentos, aliados a um consumo mensal de 400 kWh, com uma área disponível de 10000 metros quadrados.

Em sequência, a modelagem foi feita seguindo a literatura de formulação de problemas de maximização, através da elaboração da função objetivo max atrelada às variáveis estruturais e parâmetros fixos e das restrições relacionadas a essas. A função objetivo de maximização de energia com base na justaposição quantificada dos equipamento foi elaborada, abaixo, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \max = & 41. x_{\text{Painel}} + 41. x_{\text{água quente}} + 41. x_{\text{resfriamento}} + 41. x_{\text{carro}} \\ & + 4800. x_{\text{caldeira}} \quad \#(1) \end{aligned}$$

Nas quais:

$x_{\text{Painel}}$  é a quantidade de painéis destinados a compensação de eletricidade do consumo de Tomadas de Uso Geral TUG e Tomadas de Uso Específicos TUE;

$x_{\text{água quente}}$  é a quantidade de painéis destinados a compensação eletricidade na operação dos sistemas de água quente e aquecimento;

$x_{\text{resfriamento}}$  é a quantidade de painéis destinados a compensação de eletricidade para os sistemas de refrigeração;

$x_{\text{carro}}$  é a quantidade de painéis destinados a compensação de eletricidade para estação de carregamento de carro elétrico;

$x_{\text{caldeira}}$  é a quantidade de caldeiras de biomassa para atuar também na produção de água quente;

As constantes são os valores de energia em kWh mensais geradas por aparelho inserido.

E essa função objetivo max, foi sujeita às seguintes restrições de constantes operacionais e delimitadoras abaixo:

Restrição de área de instalação, em m<sup>2</sup>:

$$1.5. (x_{\text{Painel}} + x_{\text{água quente}} + x_{\text{resfriamento}} + x_{\text{carro}}) + 30. x_{\text{caldeira}} \leq 10000 \quad \#(2)$$

Restrição de investimento fixo, em R\$:

$$859. (x_{\text{Painel}} + x_{\text{água quente}} + x_{\text{resfriamento}} + x_{\text{carro}}) + 20000. x_{\text{caldeira}} \leq 300000 \quad \#(3)$$

Restrição de custo de manutenção anual, em R\$:

$$0,8. (x_{\text{Painel}} + x_{\text{água quente}} + x_{\text{resfriamento}} + x_{\text{carro}}) + 198. x_{\text{caldeira}} \leq 10000 \quad \#(4)$$

Restrições de mínimas quantidades devido aos valores mínimos de energia mensal solicitada por aplicação:

$$(x_{\text{painel}}) \geq 117 \#(5)$$

$$(x_{\text{água quente}}) \geq 24 \#(6)$$

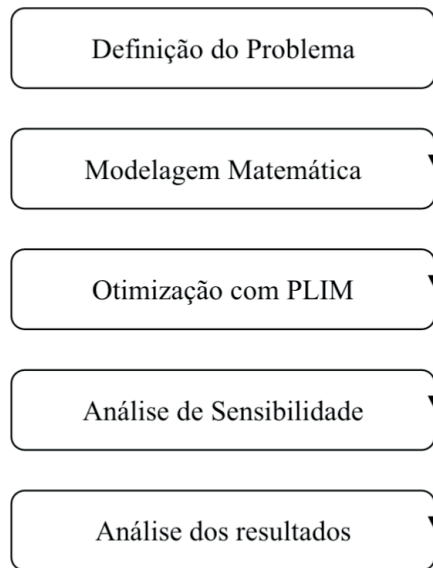
$$(x_{\text{resfriamento}}) \geq 19 \#(7)$$

$$(x_{\text{carro}}) \geq 9 \#(8)$$

$$0.21 \leq x_{\text{caldeira}} \leq 2 \#(9)$$

Para a solução, foi utilizado o método de PLIM, escrito através da linguagem Python em uma interface de desenvolvimento (IDE), em conjunto com a biblioteca de otimização do Google, a *OrTools* que implementa o método PLIM na linguagem utilizada.

Posteriormente, foi feita a Análise de Sensibilidade para comparação dos resultados e tirada das informações. Pode-se observar, na Figura 1, de maneira simplificada a metodologia de resolução.



**Figura 1** - Resolução de um problema de otimização simples

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a elaboração dos códigos e obtenção dos resultados do ponto maximizado de geração de energia, os mesmos foram expostos na Tabelas 1, relativa ao valor da função objetivo perante os cenários hipotéticos e a Tabela 2 referente aos valores , para contribuição com a análise do contexto em questão.

Nº	Configuração/Cenário	max	Não viável
1	Configuração normal	21982 kWh	nenhum
2	Dobro do investimento inicial	36291 kWh	nenhum
3	Metade do investimento inicial	0 kWh	todos
4	Dobro dos preços dos equipamentos	0 kWh	todos
5	Metade dos preços dos equipamentos	36291 kWh	nenhum
6	Dobro da área de instalação	21982 kWh	nenhum
7	Metade da área de instalação	21982 kWh	nenhum

**Tabela 1** - Ponto ótimo devido à mudança nos parâmetros

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

	max	$x_{\text{painel}}$	$x_{\text{água quente}}$	$x_{\text{resfriamento}}$	$x_{\text{carro}}$	$x_{\text{caldeira}}$	Total
21982 kWh	Nº de equipamentos	117	35	100	50	2	304
	Área m <sup>2</sup>	175,5	52,5	150	75	60	513
	Investimento R\$	100503	30065	85900	42950	40000	299418
	Manutenção R\$	93,6	28	80	40	396	637,6
36291 kWh	Nº de equipamentos	376	125	100	50	2	653
	Área m <sup>2</sup>	564	187,5	150	75	60	1036,5
	Investimento R\$	322984	107375	85900	42950	40000	599209
	Manutenção R\$	300,8	100	80	40	396	916,8

**Tabela 2** - Ponto ótimo devido à mudança nos parâmetros

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com base nos valores dos pontos ótimos da função max, mencionados na tabela 1, os casos 1, 2, 5, 6 e 7 resultaram em pontos otimizados e viáveis em todas as variáveis, nos quais 1, 6 e 7 se equiparar, indicando uma solução forte, já os demais, 2 e 5, apresentaram o mesmo ponto ótimo, trazendo a tona a relação inversa entre preço e investimento garantirem soluções ótimas amplificadas. O tópico “Não viável” foi direcionado para caracterizar as variáveis que não atingiram o mínimo de geração viável para sua destinada aplicação, devido a potência literal necessitada para cada aplicação do centro residencial limitar essas certas variáveis a um valor mínimo de potência mensal em kWh. Ainda sobre a Tabela 1, também foi possível observar, nos casos 3 e 4 a variação nos parâmetros, que, quando caíram a 0 kWh instalados, a indicação foi a de não viabilidade de implementação do protótipo.

Acerca da Tabela 2, quando filtrados os números coletados das variáveis no *software*, para o exemplo onde os pontos ótimos se efetivaram, no ponto 21982 kWh, a

economia de área foi de 9487 m<sup>2</sup>, já no ponto de 36291 kWh, o reaproveitamento de área foi de 8963,5 m<sup>2</sup> livre. A respeito dos valores de economia, no primeiro ponto, ao efetuar a diferença entre tudo investido e o custo, houve um balanço positivo de 9944,4 R\$ em saldo, já no segundo ponto ótimo, 19874,2 R\$.

Como também observado na Tabela 2, a superestrutura teve seu tamanho aumentado devido ao aumento de área e do número de equipamentos em 140 unidades.

O abate na conta de luz, considerando um uso de 4800 kWh, para uma resposta segundo a Tabela 2, de 4797 kWh, o valor de uso da rede elétrica foi de 3 kWh, para o primeiro ponto. No segundo, a margem mudou para 10616 kWh gerado em excedência. A lógica se manteve equalizada para as demais variáveis.

## CONCLUSÕES

O estudo mostrou que com a aplicação de técnicas de otimização com PLIM se mostrou satisfatório, fornecendo dados finais importantes para fazer o balanço comparativo contra o consumo da própria rede elétrica, e contra implementação com logística humana sem planejamento computacional, melhorando assim a logística de maneira mais rápida e eficiente, abatendo os valores energéticos antes demandados da rede, e otimizando o máximo possível de espaço destinado ao uso dos equipamentos.

A partir disso, com base na análise feita acerca dos resultados, foi possível concluir que, observando os casos 6, 7, às perturbações de área não surtem efeito direto na instalação aumentada, sendo assim, para aumentar a área aproveitada, a única forma que o sistema se mostrou viável foi aumentando o valor dos investimentos para os casos 2 e 5, já que para um cenário econômico, a redução dos custos seria hipotética. Outro ponto interessante que foi possível encontrar com esse estudo foi que o sistema se mostrou passível de redistribuição dos excessos de fluxo energético, pois em ambos os pontos ótimos de max, o primeiro, houve uma redução de 4797 kWh numa referência de 4800 kWh, e no segundo, uma geração excedida de 10616 kWh, indicando assim a viabilidade do sistema para o mercado de créditos de energia. O mesmo foi possível observar em relação às demais variáveis.

Por fim, com base no estudo simplificado acerca da otimização residencial, ainda gera impasses operacionais, como o fator área, que para o âmbito de geração de energia, a área se mostra um ponto limitante visto a aplicabilidade ser em zonas residenciais, delimitando assim o aumento significativo na geração.

Acerca disso, ainda há desafios operacionais para a implementação desses sistemas inteligentes de energia, e para trabalhos futuros, fica-se sugestões como, o controle eletrônico entre troca comutativa de rede elétrica e sistema inteligente, análise dos transitórios envolvidos nessas trocas e previsão de geração solar com Inteligência Artificial (IA) para a compensação dos excedentes de energia elétrica calculada pelos softwares.

## REFERÊNCIAS

BELFIORE, Patrícia; FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. Elsevier Brasil, 2013.

HASNAOUI, Abir; OMARI, Abdelhafid; AZZOUZ, Zin-Eddine. Optimization of Building Energy based on Mixed Integer Linear Programming. **2022 2Nd International Conference On Advanced Electrical Engineering (Icaee)**, Constantine, Algeria, p. 1-6, 29 out. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icaee53772.2022.9962068>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9962068>. Acesso em: 30 abr. 2024.

KONG, Deshi; LYU, Mingyu; MIYATAKE, Masafumi. Cooperative optimization of capacity and energy management of hybrid energy storage system in rail transit system based on non-dominated sorting genetic algorithm-II and mixed-integer linear programming. **2023 26Th International Conference On Electrical Machines And Systems (Icems)**, Zhuhai, China, p. 1981-1986, 5 nov. 2023. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icems59686.2023.10344856>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10344856>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MOHAN, Anjali *et al.* A Comparative Study on Genetic Algorithm and Mixed Integer Linear Programming based Optimal Home Energy Management System. **2023 IEEE International Conference On Power Electronics, Smart Grid, And Renewable Energy (PESGRE)**, Trivandrum, India, p. 1-6, 17 dez. 2023. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/pesgre58662.2023.10405071>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10405071>. Acesso em: 30 abr. 2024.

TOUGHZAoui, Yassine *et al.* System Sizing and Energy Management Optimization using a Hybrid Model. **2022 10Th International Conference On Systems And Control (Icsc)**, Marseille, France, p. 397-402, 23 nov. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icsc57768.2022.9993857>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9993857>. Acesso em: 30 abr. 2023.



# SISTEMA DE MEDIÇÃO MULTIVARIÁVEL PARA MONITORAMENTO DE SINAIS SENOIDAIS DE CORRENTE E TENSÃO ELÉTRICA

Data de submissão: 20/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

**Ariel Souza Medeiros**

**Evandro Ailson de Freitas Nunes**

<http://lattes.cnpq.br/8374333578947971>

## INTRODUÇÃO

Os recursos, possibilidades e aplicações trazidos para a sociedade moderna através da evolução dos estudos na área da eletricidade, são de valor intelectual, financeiro e material inestimáveis. Nesse âmbito, a energia elétrica se tornou um insumo fundamental, deixando o ser humano cada vez mais dependente da continuidade e existência do serviço, de maneira que formas alternativas de obtenção de energia elétrica são temas em alta nos últimos anos, e mantêm a comunidade científica empenhada no desenvolvimento de maneiras mais eficientes do seu consumo (JAIN, C.; SINGH, B., 2015).

Na década de 70, o consumidor residencial possuía uma carga quase que inteiramente resistiva, salvo raras exceções

(MEHL, E. L. M., 2012). Mas, com o advento e popularização dos circuitos eletrônicos, esse padrão mudou significativamente, de modo que a qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor tornou-se também uma prioridade. O aumento da complexidade de funções que são exigidas das cargas elétricas, desde o uso doméstico como industrial, contribuiu para o incremento da sensibilidade dessas cargas frente às condições de operação do sistema elétrico (DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A., 2017).

Outro fator notável é a crescente de fontes de energia elétrica renováveis. É conhecido pela bibliografia que os inversores de sistemas fotovoltaicos utilizam corrente contínua para o chaveamento em altas frequências de transistores, que acabam por adicionar harmônicos de tensão e corrente junto ao sinal fundamental (SCHMIDT, F. H. G. *et al.*, 2022). Também é identificado obstáculos na energia eólica, onde os geradores possuem rápida variação de tensão de saída, ocasionando flutuações de tensão

que são prejudiciais para o sistema elétrico de potência, ou na geração por marés, que possuem grandes flutuações de energia, gerando problemas como variações de frequência, distorções harmônicas entre outras (DO CARMO BORGES, W. B.; OLESKOVICZ, M.; JÚNIOR, B. R. P., 2022).

Alguns exemplos de problemas que afetam a qualidade da energia elétrica, também chamados de distúrbios elétricos, são o desequilíbrio de tensão, flutuações de tensão, harmônicos e fator de potência (ANEEL, 2021). Esses distúrbios podem ocasionar em perdas significativas, como queima das cargas e mau funcionamento dos mesmos. A maioria desses distúrbios afetam diretamente a forma de onda dos sinais de tensão e correntes que fluem em um sistema elétrico. Por isso, um monitoramento preciso desses sinais é necessário, pois embasa as ações de engenharia adequadas para a identificação e solução dos problemas causadores dos distúrbios.

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de medição de sinais senoidais de corrente e tensão de um sistema trifásico genérico, que possa monitorar o fluxo energético no segmento do circuito elétrico em que for inserido, além de possibilitar ações de controle, por meio de sistemas embarcados que necessitem de condicionamento de sinais adequado.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Inicialmente, foi conduzida uma revisão da literatura, focada nos princípios fundamentais de medição. A bibliografia consultada foi diversificada, abrangendo tanto artigos científicos quanto trabalhos de conclusão de curso. Durante o processo de leitura, foi realizada uma síntese paralela dos artigos, destacando-se os aspectos positivos e negativos de cada um.

O módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) (ANEEL, 2021) estabelece os procedimentos relativos à qualidade do fornecimento de energia elétrica, avaliados em termos da qualidade do produto, do serviço e da qualidade comercial, além do acompanhamento da segurança do trabalho e das instalações. Para cada procedimento, são definidos conceitos e a base de cálculo para a observação de fenômenos que podem afetar a qualidade da energia elétrica distribuída. Na maioria das equações, é necessário o conhecimento dos valores eficazes, mínimos, médios e máximos da componente fundamental dos sinais de corrente e tensão. Logo, a confiabilidade das estimativas dos indicadores é diretamente associada ao sistema de sensoriamento a ser utilizado.

Dentre os sensores encontrados na revisão bibliográfica, são citados frequentemente o sensor de tensão ZMPT101B e o sensor de corrente SCT 013 da empresa YHDC (BREDA, J. D.; MEDEIROS, J. M.; DE ARAÚJO, J. V. G., 2019). No presente trabalho, será desenvolvido um analisador de energia elétrica de baixo custo, similar ao proposto por

Stapenhorst (2021), no formato de bancada com alimentação própria, sem dependência e bateria externa.

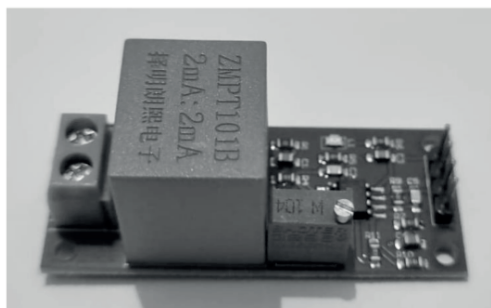
O Sensor de corrente SCT 013 000, escolhido para utilização neste projeto, é um transformador de corrente (TC) do tipo janela, cuja ilustração pode ser observada na Figura 1. Um TC é um equipamento fundamental para medição e proteção, que atua abaixando a corrente da carga no seu enrolamento primário, fornecendo uma corrente de menor amplitude, porém análoga, no seu secundário (MAMEDE FILHO, J., 2013).



**Figura 1** - Sensor de corrente SCT 013 000.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

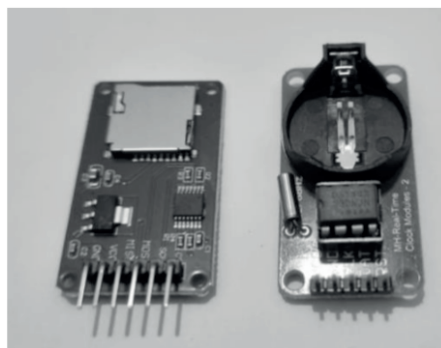
O sensor de tensão ZMPT101B utilizado neste projeto é um transformador de potencial que converte valores de tensão da rede para uma faixa de valores mais adequados para ferramentas de medição e proteção (MAMEDE FILHO, J., 2013). O seu enrolamento primário é composto de diversos enrolamentos de fio, em contraposição do seu secundário. Esta configuração permite a redução dos níveis de tensão de maneira análoga no secundário, ainda que compartilhe as mesmas características e informações presentes na onda de entrada no primário. Um exemplar desse sensor de tensão pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2** - Sensor de tensão ZMPT101B.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

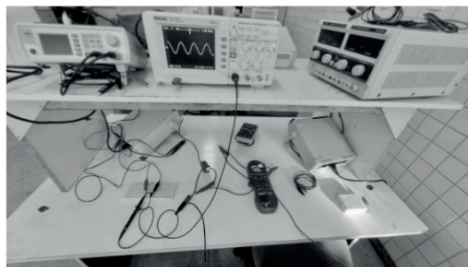
O condicionamento de sinais de corrente é realizado por meio de um divisor de tensão acoplado, para que este pudesse ter valores adequados para serem lidos, além de um resistor de carga, já que o sinal de saída do sensor é um valor de corrente, que quando circula por um resistor, gera um sinal de tensão. O sensor de corrente fornece em sua saída um sinal de tensão já otimizado para a leitura em plataformas de microcontroladores. O sistema também utiliza um módulo *real time control* (RTC) para contagem de tempo no circuito, associando as medições a uma faixa temporal, que é um perfil desejado para aplicações que requerem análise em tempo real, também conhecidas como *on-line*. Para possibilitar a análise offline dos sinais elétricos, o sistema de medição dispõe de um módulo de cartão SD, a fim de armazenar os dados de ensaios desejados. Um exemplar do módulo RTC e de cartão SD podem ser observados na figura 3.



**Figura 3** - Módulo de cartão SD e RTC.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

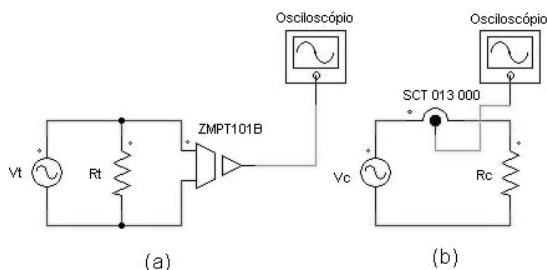
Após a determinação dos materiais a serem utilizados, é necessário o estudo dos sensores, que engloba o teste de desempenho e posterior calibração. Esta parte é fundamental para garantir a segurança do equipamento utilizado para o processamento de dados. O microcontrolador utilizado neste projeto é o Arduino Uno, uma plataforma de código aberto de fácil usabilidade e disponibilidade que teve como propósito o seu uso profissional em dispositivos interativos com o ambiente por meio de transdutores (ISMAILOV, A. S.; JO'RAYEV, Z. B., 2022). Na Figura 4 é possível observar a estrutura utilizada para o teste de desempenho dos sensores, que conta com multímetros, alicates amperímetros e um osciloscópio.



**Figura 4** - Estrutura dos testes dos sensores de corrente.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Na figura 5(a), é possível ver o esquema de teste utilizado para o sensor de tensão, que consiste na aplicação de uma fonte externa de tensão, obtendo na saída do sensor um sinal análogo à entrada, que será medido pelo osciloscópio. A figura 5(b) apresenta o esquema realizado para o sensor de corrente, onde, por meio de um circuito externo composto por uma fonte de tensão e um elemento resistivo, será aferida a corrente. Na saída do sensor, o sinal é enviado a um osciloscópio. Estão disponíveis 3 exemplares de cada um dos sensores, com o objetivo de medir sistemas trifásicos com canais independentes entre si.

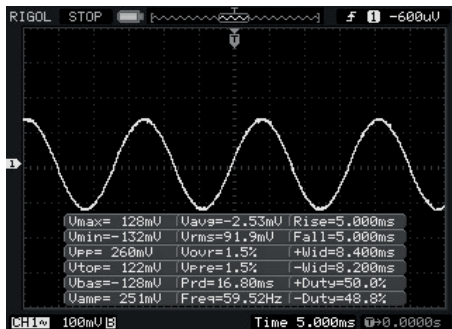


**Figura 5** - Esquema simplificado do teste dos sensores.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

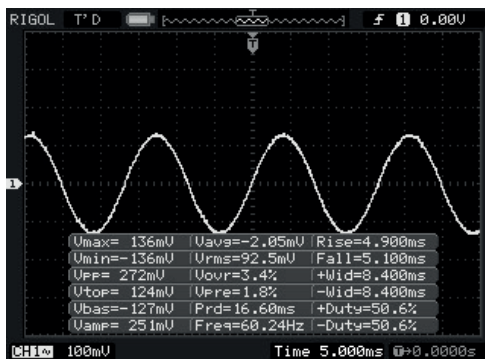
Os sensores de tensão foram testados conforme visto na figura 5(a). A variável  $V_t$  corresponde ao sinal de entrada alternado sem *offset* de 30 V de amplitude máxima, tendo como saída do sensor uma tensão eficaz de 91,9 mV, como visto na figura 6. Esse valor é passível de ajuste por meio de um *trimpot* presente no sensor. Também é observado um *offset* inerente ao sensor no valor de 2,53 mV. Notou-se também presença de valores negativos de tensão com valor mínimo de -132 mV, sendo necessária a implementação de uma componente contínua, cujo objetivo é adicionar um *offset* de 2,5 V ao sinal, para viabilizar a leitura mediante o arduino.



**Figura 6** - Sinal de saída do sensor de tensão.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os testes para o sensor de corrente foram arranjados de maneira semelhante ao descrito na figura 5(b). Tem-se  $V_t$  representa o sinal de tensão alternada e sem *offset* da fonte, com valor de amplitude máxima de 15 V, e  $R_t$  representa uma carga resistiva de 25 Ohms e 100 W. Quando integrado ao circuito, o sensor produz um sinal de corrente na saída. Com a finalidade de medir este valor, na saída do sensor foi acoplada em um resistor de carga de 100 Ohms. Por meio dessa configuração, foi possível obter um sinal de tensão proporcional à corrente de saída do sensor com valor eficaz de 92,5 mV, apresentando também um *offset* inerente ao sensor com valor de -2,05mV, como pode ser observado na figura 7. Com o valor de tensão eficaz em mãos, por meio da Lei de Ohm, é possível calcular a corrente de saída do sensor. Com isso, o erro percentual encontrado é de 0,03%, quando comparado com o valor obtido no alicate amperímetro, que apresenta apenas 1 casa decimal de precisão para valores nessa escala.



**Figura 7** - Sinal de saída do resistor de carga do sensor de corrente.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

## CONCLUSÕES

Diante do exposto, os sensores adquiridos foram devidamente testados e seu pleno funcionamento e fidelidade foram constatados, necessitando apenas soluções que adicionem um componente contínuo ao sinal de saída para leitura correta do arduino. Como alternativa, pretende-se futuramente transformar o projeto em uma bancada de medições para o laboratório do IFBA Campus Paulo Afonso, retornando os frutos deste projeto para a comunidade acadêmica.

Os próximos passos consistem em simular os circuitos para o estudo dos sinais gerados, a fim de melhor condicioná-los para a adequada aferição das grandezas por meio do arduino. Ademais, será possível o cálculo da potência consumida por cada parte do sistema, o que possibilita o desenvolvimento de uma fonte de alimentação mais adequada para o circuito. Após esse processo, se dá início à montagem do equipamento.

Como sugestões futuras de desenvolvimento do trabalho, após a aferição e armazenamento dos dados, podem ser feitas diversas análises dos resultados no que abrange a qualidade de energia elétrica, sendo um processo enriquecedor tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista acadêmico.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo fomento da bolsa de iniciação científica, bem como ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Paulo Afonso, pela infraestrutura dos laboratórios e fomento do conhecimento adquirido e incentivo à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Nacional – PRODIST. Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica.** 2021.

BREDA, J. D.; MEDEIROS, J. M.; DE ARAÚJO, J. V. G. **Desenvolvimento de um Medidor de Consumo de Energia Elétrica em Tempo Real por meio de Medidor não Invasivo de Corrente Utilizando a Plataforma Arduino.** In: ANAIS DO 14º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE, 2019, Ouro Preto. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: Acesso em: 02 Abr. 2024.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Qualidade de energia elétrica: conceitos, normas e técnicas de análise.** In: XVIII SNPTÉE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 2005, Curitiba. Anais do XVIII SNPTÉE. Curitiba: ELETROSUL, 2005. p. 1-10. Disponível em: <https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a1.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

DO CARMO BORGES, William Brasileiro; OLESKOVICZ, Mário; JÚNIOR, Benvindo Rodrigues Pereira. **mulações Digitais em Tempo Real Considerando Geração Eólica Aplicadas em Problemas de Qualidade da Energia Elétrica: o Estado da Arte. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE, v. 2, n. 1, 2022.**

ISMAILOV, Alisher Shakirovich *et al.* **Study of arduino microcontroller board.** Science and Education, v. 3, n. 3, p. 172-179, 2022.

JAIN, Chinmay; SINGH, Bhim. Single-phase single-stage multifunctional grid interfaced solar photovoltaic system under abnormal grid conditions. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 9, n. 10, p. 886-894, 2015.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos.** Grupo Gen-LTC, 2013.

MEHL, Ewaldo LM. Qualidade da energia elétrica. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ–UFPR**, p. 21, 2012.

SCHMIDT, Fernando HG et al. Estudo da Influência de Distorções Harmônicas Inseridas por Sistemas Fotovoltaicos no Fator de Potência da Rede Elétrica de Distribuição. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 2, n. 1, 2022.

STAPENHORST, Paulo Josué. **Desenvolvimento de um analisador de energia elétrica de baixo custo com Arduino.** 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 06 dez. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/3331>.



# LOS SILOXANOS EN EL BIOGÁS. ORIGEN, EFECTOS Y TRATAMIENTOS. TECNOLOGÍAS EN EL MERCADO

*Data de submissão: 22/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Joaquín Reina Hernández.**

Biogas & Gases Technologies. TIND-  
BGasTech-España  
Grupo Tormene

**RESUMEN:** El biogás procedente de vertederos y depuración de aguas residuales (EDAR) constituye una materia prima para la producción de energía y nuevos productos. El biogás cuando sale del digestor es un gas sucio que presenta componentes perjudiciales para su uso ( $\text{NH}_3$ , siloxanos, hidrocarburos halogenados, BTEX, VOCs,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.). Entre los componentes de mayor incidencia, tanto en el aprovechamiento energético del biogás, como en su uso para la producción de Biometano están los siloxanos por los daños que producen, tanto en máquinas para la producción de energía como en las tecnologías usadas para la producción de Biometano. Actualmente existe en el mercado varias tecnologías para la limpieza del biogás. La tecnología BTS-MPdry-Siloxa. Es una tecnología multipropósito basada en la combinación de operaciones desarrollada por BGasTech para la eliminación de los siloxanos presente en el biogás. La tecnología cuenta

de dos etapas básicas. Una de eliminación gruesa y otra de refinamiento que produce un biogás calidad materia prima con un alto grado de limpieza y bajos operativos (OPEX) que garantiza el uso adecuado del biogás para cualquier fin.

**PALABRAS CLAVE:** Biogás., Siloxanos., Tecnologías., Limpieza., Máquinas

## 1 | INTRODUCCIÓN.

El biogás desde un punto de vista técnico es una mezcla de gases, tanto en su composición básica ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , etc.) como, en sus componentes perjudiciales ( $\text{NH}_3$ , siloxanos, hidrocarburos halogenados, BTEX, VOCs,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.). Su composición está íntimamente relacionada con el tipo de materia que se somete al proceso de digestión anaerobia, y con la tecnología que se usa para su producción, de aquí que se puede hablar en termino generales de dos tipos de biogás.

**Sistemas no controlados.** Biogás de vertedero, rellenos sanitarios, pantanos

**Sistemas controlados.** Planta de depuración de aguas residuales urbanas (EDAR) y de plantas de digestión anaerobia (alta carga orgánica).

En términos generales se puede plantear que los últimos se caracterizan por tener elevada concentración de  $H_2S$  su principal componente contaminante, y en el caso de EDAR la presencia de siloxanos, mientras que en los primeros (vertederos) se caracterizan por la aparición de los siloxanos y los hidrocarburos de alto peso molecular.

Los siloxanos son compuestos creados por el hombre y se aplican en muchos productos de higiene personal e Industriales, por citar ejemplos, en los cosméticos, alimentos, aditivos para plásticos, productos de limpieza, etc.

Un siloxano es un grupo funcional de órgano-silicio con el enlace Si-O-Si. Ejemplos de ellos son  $[SiO(CH_3)_2]_n$  (dimetilsiloxano) y  $[SiO(C_6H_5)_2]_n$  (difenilsiloxano), donde  $n$  suele ser mayor que 4.

Siliconas. Son siloxanos polimerizados (polisiloxanos)

Como se encuentran en muchos productos Industriales y de uso en la sociedad. Los siloxanos se pueden encontrar en aguas residuales o residuos sólidos urbanos (RSU) principalmente. Estos cuando entran al proceso de digestión anaerobia se liberan formado parte de los compuestos orgánicos volátiles presentes en el biogás generado.

Estos componentes producen daños en las máquinas y tecnologías empleadas para su valorización, reduciendo la vida útil de las mismas por el efecto abrasivo y de deposición (incrustación) que producen en las partes internas de éstas, lo que conlleva el mal funcionamiento y rotura de partes y piezas y con ello el aumento del coste de operación por los reiterados cambios y sustitución de aceites y partes interna de las mismas.

En este trabajo se presenta la tecnología BTS-MPdry-Siloxa y su aplicación práctica en el caso de la EDAR Butarque-Madrid como técnica para la eliminación de los siloxanos en el biogás.

## 2 | DESARROLLO

### 2.1 Origen de los siloxanos.

Los siloxanos son una familia de compuestos orgánicos formados por cadenas lineales o cíclicas de silicio, oxígeno y grupos metilos. Son fabricados en un abanico de formas, entre los que se incluyen fluidos de alta y baja viscosidad, gomas, elastómeros y resinas, se encuentran en cantidades significativas en una amplia y variada gama de productos domésticos, tales como detergentes, champús, desodorantes, pastas dentífricas, cosméticos, entre otros.

La mayoría de ellos se volatilizan rápidamente a la atmósfera y con el tiempo se degradan en dióxido de carbono, sílice y agua. Pero algunos, no obstante, acaban en las aguas residuales y en los sólidos urbanos de desguace y se produce su inevitable

acumulación en vertederos y depuradores, donde se consideran uno de los contaminantes más difíciles de controlar.

Estos son compuestos orgánicos formados por siliconas, oxígeno y grupos metilos con unidad estructural  $-(CH_3)_2SiO$ , y peso molecular típicamente en el rango comprendido entre 150 a 600. Su solubilidad en agua decrece con el aumento de su peso molecular y éstos pueden ser volátiles o no.

Las figuras 1, 2 y 3 muestran la unidad estructural y diferentes tipos de siloxanos que aparecen.

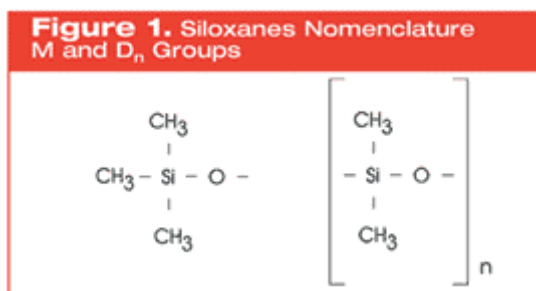


Figura 1. Unidad estructural de los siloxanos.

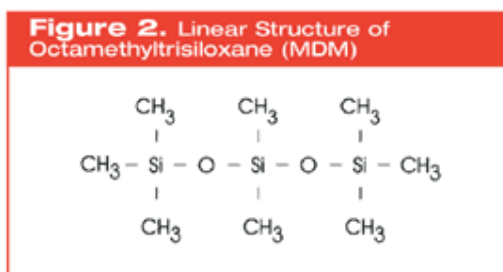


Figura 2. Siloxanos de cadena lineal. Tipo L

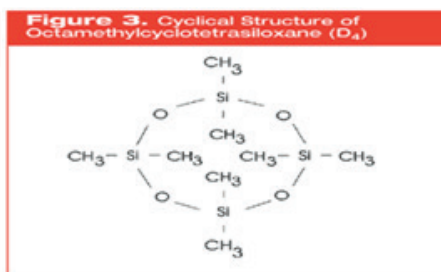


Figura 3. Siloxanos de cadena cíclica. Tipo D

## 2.2 Efecto.

Las siliconas a diferencias de los sulfuros no reaccionan con el agua para formar ácidos; sin embargo, durante la combustión las moléculas de siloxanos se rompen liberando oxígeno y silicio; esta última se combina con otros elementos formando silicatos, sílice y otros compuestos cristalinos que se depositan en la cámara de combustión (fundamentalmente en la parte alta de la camisa), en las culatas y en las caras de las válvulas.

Estas incrustaciones provocan por un lado el desgaste por abrasión de diferentes partes internas de las máquinas, por otros la perdida de las holguras entre partes fijas y móviles interna de las estas. Las figuras 4, 5y 6 muestra las incrustaciones que causan los siloxanos en diferentes tipos de máquinas.

El contenido de siloxanos permisibles en el biogás para un buen funcionamiento de los motores no debe exceder por lo general  $< 3 \text{ mg/Nm}^3$ , aunque cada fabricante de

máquina pone sus límites. Un contenido superior indicará posibles problemas de deposición de sílice, y con ello, el quemado de válvulas de escape y pérdida de aceite de lubricación.

Las figuras 4,5 y 6 muestran las incrustaciones producidas por los siloxanos en diferentes tipos de máquinas.



Figura 4. Motor



Figura 5. Caldera



Figura 6. Turbina

## 2.3 Tratamientos.

Las tecnologías actuales en el mercado para la eliminación de dichos compuestos (siloxanos) pueden ser específicas y combinadas. Por lo general aplican una o dos técnicas de tratamiento , entre las cuales se pueden citar.

1. Enfriamiento. Hasta los 4 °C., Subenfriamiento (enfriamiento hasta -25 °C).
2. Adsorción. Carbón activado., Térmica regenerativa (membranas)., Silicagel.
3. Lavado con ciertos reactivos. Metanol., Aceite de lubricación usado.
4. Combinación de técnicas. BTS-MPdry-Siloxa.

BTS-MPdry-Siloxa. Es una tecnología multipropósito basada en la combinación de operaciones que se fundamenta en el enfriamiento, condensación, lavado, secado y adsorción en carbón activo, que minimiza, tanto el consumo energético, como el de carbón activo. La tecnología cuenta de dos etapas básicas. Una de eliminación gruesa de contaminantes incluyendo los siloxanos tipos D, hidrocarburos por enfriamiento del y acondicionamiento del biogás para entrada a la etapa de refino/pulido por adsorción. Otra de refinamiento (eliminación de siloxanos tipo L y D) vía adsorción en carbón activo. Una parte importante de esta tecnología es el recuperador-lavador que garantiza, por un lado, el acondicionamiento del biogás antes de entrar a la etapa de refino y, por otro lado, minimiza el consumo energético en el proceso de enfriamiento del biogás.

La figura 7 y 8 muestra la tecnología BTS-MPdry-Siloxa desarrollada para la eliminación de siloxanos.

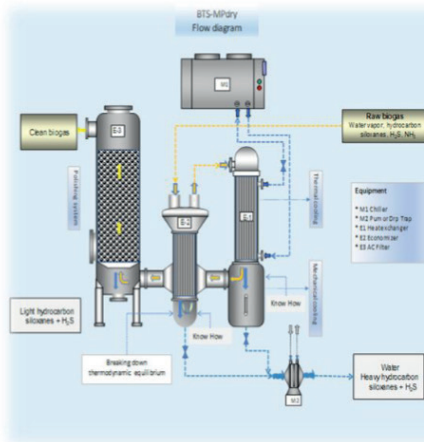


Figura 7. Diagrama de flujo.



Figura 8. Tecnología BTS-MPdry-Siloxa

La tecnología cuenta con dos formas de enfriamiento del biogás. Una por transferencia de calor, enfriamiento térmico, debido al intercambio de energía entre el medio refrigerante aportado por la máquina de refrigeración (agua con glicol) y el biogás y otros por enfriamiento mecánico, debido a la expansión brusca que experimenta el biogás cuando entra al condensador que facilita, a su vez, mayor eficacia, tanto en la operación de condensación, como en la eliminación de los condensados formados.

## 2.4 Caso de estudio.

Este estudio se realizó en la EDAR Butarque Madrid-España que operaba la empresa Drace-Dragado.

Las condiciones de trabajo se citan a continuación

1. Caudal de biogás = 1.300 Nm<sup>3</sup>/h.
2. Temperatura biogás entrada tecnología = 38 °C
3. Presión de biogás = 30 mbar.
4. Temperatura de operación de la tecnología = 2 °C.
5. Objetivo. Reducción del nivel de siloxanos en el biogás.

## 3 | RESULTADOS.

La tabla 1 muestra los resultados alcanzados en la eliminación de los siloxanos y la reducción del silicio en la corriente de biogás antes entrada motor de cogeneración antes y después de aplicar la tecnología BTS-MPdry y el porcentaje de reducción que se alcanza en ambos tipos de componentes.

Siloxanos (mg/m <sup>3</sup> )	Silicio (mg/m <sup>3</sup> )
2016 sin tratamiento	
1.99	0.75
2017 con tratamiento	
0.06	0.02
% reducción	
96,98	97,33

Tabla 1. Concentración de siloxanos y el silicio en al biogás antes y después de aplicar la tecnología BTS-MPdry

La figura 9 muestra el comportamiento de la concentración de silicio en el aceite del motor de cogeneración antes y después de aplicar la tecnología tecnología BTS-MPdry-Siloxa.

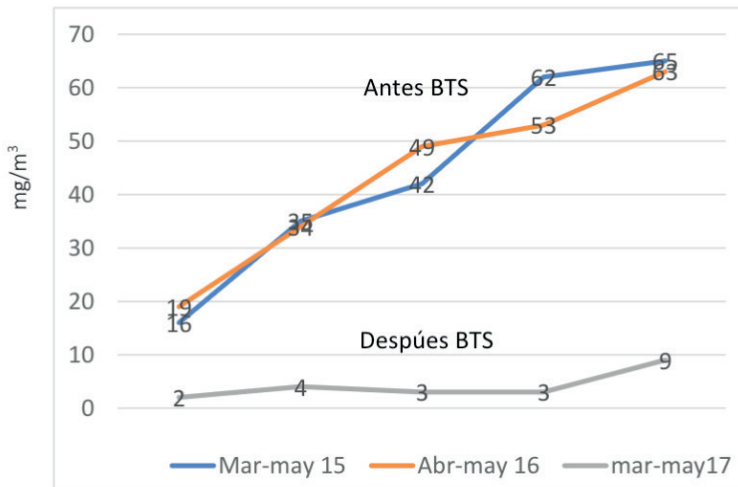


Figura 9. Comportamiento del silicio en aceite de motor antes y después aplicar la tecnología BTS-MPdry

#### 4 | CONCLUSIONES

Como resultados de la aplicación de la tecnología de limpieza se desprenden las siguientes conclusiones.

1. Funcionamiento óptimo de las máquinas usadas en el aprovechamiento energético del biogás (motores, turbinas, calderas, etc.). Cumplimiento de tiempo de vida útil y más.
2. Reducción del coste de mantenimiento (por repuestos, cambio de piezas y aceite) de las máquinas involucradas en este tipo de instalaciones de aprovechamiento energético.

3. Larga vida útil del uso del carbón activo (lecho AC) como sistema de pulido del biogás.
4. La reducción general del OPEX, tanto de la planta de limpieza, como de la planta de generación eléctrica debido, por un lado, a la reducción del consumo energía del proceso y al aumento de la vida útil del carbón activo y, por otro lado, debido a la reducción del silicio en el aceite del motor.

## REFERENCIAS

Artículo: R.Huppmann, H.W. Lohoff, H.F. Schröder, Fresenius J. (1996). Cyclic siloxanes in the biological wastewater treatment process-Determination, quantification, and possibilities of elimination, Anal.Chem 354 (66-71).

Congreso: J. Reina. et al (nov. 2002). Plant for biogas treatment for its use as biofuel. 9º Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química. Barcelona- España.

Revista: J. Reina. Humedad y siloxanos en el biogás generado en vertederos y depuradoras. Info enviro. Octubre 2006.

Revista: J. Reina. Biolimp-Siloxa. Planta multipropósito para la limpieza del biogás. Infoenviro. Julio/ agosto 2008.

Artículo: M. Constant, H. Naveau, G.-L. Ferrero and E.-J. Nyns. Biogas end-use in the European community. Commission of the European communities. Elsevier applied science

Boletín: Estibaliz. A, José. I. Ciria. (2004). Siloxanos en motores de gas. Boletín mensual sobre lubricación y mantenimiento

Congress: Jeffrey L. Pierce, P.E. Vice President SCS Energy Long Beach, California. SILOXANE QUANTIFICATION, REMOVAL, AND IMPACT ON LANDFILL GAS UTILIZATION FACILITIES. 8TH ANNUAL LMOP CONFERENCE AND PROJECT EXPO January 10-11, 2005. Baltimore, Maryland.

Revista: J. Reina. Los siloxanos en el Biogás. Origen, Efecto y Tratamientos. Industria Química enero 2015.

Libro: J. Reina. El biogás una ecológica y económica fuente de energía. Instalaciones de captación, limpieza y acondicionamiento del biogás. Máquinas, equipos y tecnologías. Primera edición: noviembre 2020 ISBN: 978-84-1374-304-2. Editorial Circulo Rojo.

# AValiação DAS PROPRIEDADES DE MISTURAS PARA TIJOLOS ECOLÓGICOS PRODUZIDAS COM RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

*Data de submissão: 26/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Emanuele Cristina Pereira Miranda**

Estudante do Ensino Médio Técnico –  
Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia da Bahia

### **Guilherme Alves Chagas**

Estudante do Ensino Médio Técnico –  
Instituto Federal de Educação Ciência e  
Tecnologia da Bahia

### **Juliane Santos Souza**

Mestre – Instituto Federal de Educação  
Ciência e Tecnologia da Bahia

### **Regina Maria Cunha Leite**

Doutora – Instituto Federal de Educação  
Ciência e Tecnologia da Bahia

**RESUMO:** A indústria da construção civil tem consumido cada vez mais recursos naturais. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) 1, seguido do PAC 2 e o PAC 3 são impulsionadores do aumento do número de obras. O cenário citado ocasiona a geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Nesse cenário, o uso do RCD na produção de tijolos ecológicos pode ser uma saída viável para a diminuição dos impactos da cadeia produtiva da construção civil, principalmente pelo consumo dos

resíduos, que anteriormente deveriam ser descartados. Outro aspecto importante é que os tijolos de solo-cimento não precisam ser submetidos a queima, como os tijolos mais utilizados atualmente, que são os de material cerâmico. Com base no que foi apresentado, o objetivo geral deste trabalho é a avaliação de misturas para a produção de tijolos de solo-cimento com diferentes percentuais de RCD em substituição parcial ao solo. Para isso, inicialmente foi feita a caracterização dos materiais utilizados e, posteriormente, as misturas foram avaliadas quanto à resistência à compressão e a absorção por imersão. Os resultados mostraram que a incorporação de RCD em tijolos ecológicos promoveu redução da absorção e aumento da resistência mecânica, indicando que é uma alternativa promissora para a gestão de resíduos da construção civil, proporcionando uma destinação mais sustentável para esses materiais e reduzindo a extração de recursos naturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de construção e demolição, tijolo de solo-cimento, material reciclado.



## 1 | INTRODUÇÃO

A sustentabilidade e sua importância têm sido um tema amplamente discutido no setor da construção civil. O desenvolvimento sustentável é pensado dentro de um lema, para atender a geração atual sem comprometer o desenvolvimento das gerações futuras.

Nesse contexto, a indústria da construção civil desempenha um papel fundamental, por ser um dos setores que mais consome recursos naturais e gera resíduos (Monteiro et al., 2017). Portanto, a adoção de práticas sustentáveis nessa indústria se tornou essencial para promover a eficiência no uso de recursos naturais e a redução dos impactos ambientais, por meio de soluções mais inovadoras e ecológicas (Pereira, 2023).

Um Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil, publicado em 2024 pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA), faz uma estimativa que em 2023 foram gerados cerca de 44 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) (ABREMA, 2024). Segundo o relatório, os montantes coletados, em boa parte, estavam abandonados em vias e locais públicos, o que representa um grave problema para as prefeituras resolverem (ABREMA, 2022). Esses dados mostram, de forma preocupante, a responsabilidade que o setor da construção civil deve ter para diminuir os impactos associados à produção dos materiais que serão descartados. Considerando o contexto apresentado, é perceptível a necessidade da adoção de práticas sustentáveis na construção civil, que tem como foco reduzir a quantidade de RCD produzida, ou mesmo, promover um gerenciamento adequado desse tipo de material.

Além dos aspectos citados, a extração de recursos naturais pela construção civil, como areia, pedra e argila, gera problemas ambientais, e são os principais recursos extraídos por esse setor (Lira, 2020). A mineração dos materiais citados, pode resultar na depreciação da qualidade do solo, a diminuição da infiltração de água e a ocorrência de processos de erosão (Nogueira, 2016).

Além dos danos diretos ao meio ambiente, há os danos decorrentes dos processos de produção associados à construção civil, como a fabricação de cimento e tijolos tradicionais, que liberam grandes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera, contribuindo com o problema das mudanças climáticas (Laruccia, 2014).

Uma solução promissora no contexto da construção sustentável é o reaproveitamento de materiais, inclusive a Resolução CONAMA N° 307, de 2002 preconiza que alguns resíduos provenientes das atividades de construção civil podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados. Nesse contexto, há a viabilidade de avaliar a produção de tijolos ecológicos confeccionados com RCD beneficiado em forma de agregado miúdo. Essa abordagem pode oferecer possíveis vantagens, como a redução na quantidade de resíduos descartados, a diminuição na demanda por materiais naturais, frequentemente usados na fabricação dos tijolos tradicionais. e a diminuição da liberação de CO<sub>2</sub>, resultante do processo de queima dos tijolos comuns (Monteiro et al., 2017).

De acordo com a literatura, os tijolos feitos com RCD podem alcançar características mecânicas adequadas para a sua utilização de forma efetiva, representando uma alternativa viável e ecológica aos materiais convencionais. No entanto, há estudos que indicam que as propriedades dos agregados de RCD se distinguem das areias naturais, sendo necessário, portanto, a avaliação desses materiais antes da do seu emprego em tijolos reciclados (Faria et al., 2022; Lira, 2020).

Também é importante ressaltar que apesar das promessas e benefícios aparentes dos tijolos ecológicos feitos a partir de RCD, várias questões de pesquisa permanecem em aberto: indicação do melhor percentual de substituição do agregado natural pelo agregado de RCD e quais as alterações que os RCD promovem na resistência mecânica e absorção desses tijolos reciclados (Viana; Gonçalves, 2017).

Diante do que foi apresentado, esse trabalho busca identificar as características de misturas produzidas com resíduo de construção e demolição, com diferentes percentuais de agregado reciclado de RCD na composição.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a resistência mecânica e a absorção de misturas com substituição parcial de solo por resíduos de construção e demolição em forma de agregado miúdo reciclado.

### 1.1.1 *Objetivos específicos*

Para cumprir o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- caracterizar os resíduos de construção e demolição e o solo utilizado para as misturas;
- analisar a absorção de água das misturas produzidas com diferentes percentuais de RCD;
- avaliar a resistência à compressão das misturas produzidas com diferentes percentuais de RCD.

## 2 | USO DE RCD PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

### 2.1 Geração de resíduo de construção e demolição

A geração de resíduos decorrentes das atividades da construção civil é um dos maiores desafios enfrentados pelo setor (Faria et al., 2022). Segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), cerca de 44 milhões de toneladas de RCD foram coletadas no ano de 2023, sendo apenas 10% (dez por cento) destinados à reciclagem (ABRECON, 2023). Isso reflete diretamente

como a indústria da construção civil se porta ao gerenciar esses resíduos, sendo urgente a necessidade de melhoria dos índices. A Tabela 1 traz a geração desses resíduos considerando as diferentes regiões do Brasil.

Região	Geração do RCD por região
Norte	1.663.097
Nordeste	8.677.633
Centro-oeste	5.222.876
Sudeste	22.665.826
Sul	6.235.319

Tabela 1 – A geração do RCD por região

Fonte: ABREMA, adaptado pelos autores, 2024.

A Tabela 1 indica que a região sudeste gera a maior quantidade de resíduos, correspondendo a metade do total gerado no país, sendo, portanto, importante concentrar maiores ações nesse local.

Além disso, O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) apontou que, entre 2015 e 2023, a destinação e recuperação dos RCD tiveram algumas melhorias, mas é evidente, que ainda é necessário um maior empenho para melhorar os índices de reciclagem e reaproveitamento (SINIR, 2024).

Portanto, a geração de resíduos na construção civil continua crescendo, sendo necessária uma destinação mais eficiente para minimizar impactos ambientais e aumentar as taxas de reciclagem e reutilização. No entanto, essa tarefa não é fácil, principalmente pelo fato de que o responsável pelo resíduo gerado é o próprio cidadão (ABREMA, 2024).

Gonçalves (2013) verificou em seu estudo que, em média, 45 % dos RCD produzidos são restos de cerâmicas, concretos e argamassas, ou seja, são classificados como um material que pode ser reaproveitado ou reciclado dentro do próprio setor.

No entanto, esses dados ainda são imprecisos, pois existem poucos materiais que fazem essa previsão, inclusive há a ausência de dados mais recentes. Porém os artigos que tratam do tema indicam que, de forma geral, os RCD são heterogêneos e, portanto, precisam ser classificados antes do seu uso em outros materiais (Segantini, 2024).

## 2.2 Caracterização do RCD

### 2.2.1 Classificação do RCD

De acordo com a Resolução CONAMA N° 307 (2002), os resíduos da construção civil podem ser classificados em quatro classes diferentes, conforme apresentado na Tabela 2.

Classe	Descrição
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos: papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Tabela 2 - Classificação dos resíduos da construção civil

Fonte: Resolução CONAMA N° 307 (2002), adaptada pelos autores.

Conforme a resolução CONAMA N° 307 (2002) os resíduos classe A, podem ser reciclados ou reutilizados como agregados. No entanto essa aplicabilidade não é direta, os materiais precisam ser analisados quanto às suas propriedades, para analisar a viabilidade da inserção desses materiais em novos (Lira, 2020). Os tópicos seguintes fazem uma descrição desses materiais quanto a algumas características.

### 2.2.2 Porosidade e absorção

A porosidade é a medida da quantidade de espaços vazios dentro de um material sólido, em relação ao seu volume total. Os agregados reciclados provenientes de RCD apresentam maior porosidade quando comparados aos agregados de rochas naturais (Cho e Yeo, 2004).

A característica de porosidade é resultante dos materiais que dão origem aos RCD, pois são constituídos, em sua maioria, por argamassa, concreto e cerâmica, que são materiais que possuem espaços vazios no seu interior (Faria et al., 2022).

Essa porosidade pode comprometer a resistência mecânica dos materiais produzidos com os RCD, principalmente se a sua aplicação for em materiais cimentícios (Ricci e Balbo, 2009).

A alta porosidade ocasiona nos agregados reciclados uma também elevada absorção. O potencial de absorção é um dos aspectos que mais causam impacto no uso dos RCD. Há redução da água na mistura, o que leva a uma perda de trabalhabilidade (Viana; Gonçalves, 2017).

### *2.2.3 Massa Específica*

A massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, sem considerar os vazios. Segundo observações de Bazuco (1999) os valores da massa específica dos agregados reciclados são geralmente de 5% a 10% menores que os valores de massa específica dos agregados naturais, existindo a possibilidade desses números variarem um pouco, de acordo com a origem do material.

Além disso, Leite (2001) afirma que tanto a massa específica dos agregados reciclados quanto a massa unitária são geralmente menores do que a dos agregados naturais utilizados na produção de concretos.

A característica supracitada causa uma menor massa específica do material em que o RCD for aplicado, por consequência. O que não é prejudicial no caso de tijolos ecológicos, afinal serão mais leves, facilitando a sua aplicação no momento da construção.

### *2.2.4 Angulosidade*

A angulosidade dos resíduos é resultante da irregularidade e presença de arestas vivas nas partículas. Essa característica ocorre pelo processo de beneficiamento desse material, que ocorre por meio da sua quebra em grãos menores (Monteiro, Amaral e Delgado, 2017).

Segundo Leite (2021) os agregados provenientes de resíduos de construção e demolição apresentam uma angulosidade e textura mais ásperas. A característica citada pelo autor contribui para uma melhor aderência ao material reciclado e ao solo.

### *2.2.5 Quantidade de material pulverulento*

Os materiais pulverulentos são, por definição, os passantes na peneira de N° 200 (Souza, Segantini e Santos, 2024). Os RCD costumam apresentar uma grande quantidade de grãos pequenos, devido ao processo de quebra dos materiais cerâmicos e cimentícios, que são mais frágeis (Faria et al. (2022).

A existência de materiais pulverulentos pode ocasionar aumento da resistência mecânica e redução da absorção dos tijolos produzidos com agregado reciclado de RCD. Esse comportamento pode ser explicado pelos finos preencherem os vazios (porosidade) dos blocos (Faria et al., 2022).

## **2.3 Influência do RCD nas propriedades dos tijolos**

### *2.3.1 Absorção*

Segundo (Ambrozewicz, 2012) os materiais possuem a capacidade de absorver e reter em maior ou menor grau, a água. A esta propriedade dá-se o nome de absorção.

Aspectos importantes a serem salientados sobre o tijolo ecológico é sobre sua grande durabilidade e manutenção reduzida das edificações realizadas com o mesmo, pois por apresentar elevada resistência e boa impermeabilidade, as construções com ele executadas são muito duráveis, resistindo ao longo dos anos ao desgaste e à umidade (Teixeira et al., 2012).

Os tijolos produzidos a partir de RCD apresentam, em geral, uma porosidade mais elevada em comparação aos materiais convencionais, o que influencia diretamente sua capacidade de absorção de água. Esse aumento no aspecto da porosidade pode trazer benefícios específicos, como a melhoria no isolamento térmico e acústico do material, relevante para eficiência energética das edificações (John, 2000). No entanto, uma elevada absorção de água pode representar um fator de vulnerabilidade, favorecendo processos de eliminação por umidade e durabilidade do componente construtivo (Isaia et al., 2017). Dessa forma, o controle da porosidade dos tijolos de RCD, por meio da otimização da granulometria e do processo de cura, torna-se essencial para equilibrar suas propriedades físicas e mecânicas, garantindo um desempenho adequado ao longo do tempo.

Por outro lado, é crucial considerar as propriedades específicas dos materiais envolvidos na mistura de solo-cimento com RCD. Estudos de caracterização, incluindo testes de compactação, determinação da umidade ótima e da massa específica aparente seca, são fundamentais para garantir a qualidade e a durabilidade dos tijolos produzidos. Esses testes permitem ajustar as proporções de solo, cimento e resíduos, otimizando as propriedades mecânicas do material final (Silva et al., 2011).

De acordo com Masson et al. (2016) a absorção é influenciada pela porosidade dos RCD, sendo mais alta para elementos mais porosos. Ou seja, a amostra que mostra mais absorção de água é mais porosa e pode ter sofrido grande influência da presença do RCD na composição. Geralmente nas paredes de alvenaria, a absorção de água é causada pela ascensão capilar da água, através dos poros do bloco cerâmico. Com esta situação, geralmente notam-se manchas, bolor e eflorescências, destacamento de placas, etc. Para minimizar esse efeito, são empregados métodos como o uso de impermeabilizantes e a aderência a parâmetros normativos específicos.

A literatura traz alguns resultados de absorção para tijolos produzidos com RCD na composição da mistura, conforme mostrado na Tabela 3.

<b>Autor (ano)</b>	<b>Material Utilizado</b>	<b>Teor de Absorção (%)</b>
Lima et al. (2015)	Referência	21,03
Lima et al. (2015)	10% de resíduo misto	18,82
Lima et al. (2015)	20% de resíduo misto	19,26
Lima et al. (2015)	30% resíduo misto	18,53
Lima et al. (2015)	40% resíduo misto	18,14
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	Referência	17,5
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	20% de resíduo de concreto	14,7
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	40% de resíduo de concreto	13,5
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	60% de resíduo de concreto	12,5
Ferraz; Segantini (2004)	Sem resíduo	17,2
Ferraz; Segantini (2004)	20% de resíduo de argamassa de cimento	16,9
Souza et al. (2006)	Referência	17,5
Souza et al. (2006)	20% de resíduo de concreto	14,7
Souza et al. (2006)	40% de resíduo de concreto	13,5
Souza et al. (2006)	60% de resíduo de concreto	12,5
Faria et al. (2022)	10% de RCD misto	37
Faria et al. (2022)	15% de RCD misto	30
Faria et al. (2022)	25% de RCD misto	20,83

Tabela 3 – Influência do rcd na absorção de tijolos produzidos com RCD na composição

Fonte: Os autores.

Faria et al. (2022) verificaram em seu estudo que os tijolos ecológicos produzidos com 10, 15 e 25 % de RCD misto apresentaram redução da absorção conforme se aumentava o teor de material reciclado na mistura. O mesmo comportamento foi verificado pelos demais autores analisados, independentemente da quantidade de material reciclado empregado na mistura.

### *2.3.2 Compressão simples*

Em conjunto, a resistência à compressão é uma propriedade física muito importante para a segurança e durabilidade de uma edificação. Diante disso, se faz preciso que os tijolos ecológicos mantenham a sua eficácia sem que os compostos de RCD alterem sua composição, e conseqüentemente sua resistência.

Segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012), a amostra não pode apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 MPa (20 kgf/cm<sup>2</sup>) nem valor individual inferior a 1,7 MPa (17 kgf/cm). As Tabelas 4 e 5 trazem os resultados de diferentes autores nos ensaios de compressão realizados no período de 7 e 28 dias

<b>Autor (ano)</b>	<b>Material utilizado</b>	<b>Resistência à compressão (7 dias)</b>
Viana; Gonçalves (2017)	10% de resíduo de agregado	1,73 MPa
Viana; Gonçalves (2017)	20% de resíduo de agregado	1,70 MPa
Viana; Gonçalves (2017)	50% de resíduo de agregado	2,00 MPa
Segantini; Wada (2011)	60% de resíduo misto	3,40 MPa
Segantini; Wada (2011)	80% de resíduo misto	2,20 MPa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	Referência	1,60 MPa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	20% de resíduo de concreto	2,50 MPa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	40% de resíduo de concreto	3,03 MPa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	60% de resíduo de concreto	3,86 MPa
Souza et al. (2006)	Referência	1,60 MPa
Souza et al. (2006)	20% de resíduo de concreto	2,50 MPa
Souza et al. (2006)	40% de resíduo de concreto	3,03 MPa
Souza et al. (2006)	60% de resíduo de concreto	3,86 MPa
Ferraz; Segantini (2004)	Referência	1,6 MPa
Ferraz; Segantini (2004)	20% de resíduo de argamassa de cimento	2,8 MPa

Tabela 4 – Influência do RCD na compressão dos tijolos com 7 dias de cura

Fonte: Os autores.

<b>Autor (ano)</b>	<b>Material utilizado</b>	<b>Resistência à compressão (28 dias)</b>
Souza et al. (2006)	Referência	3,40 Mpa
Souza et al. (2006)	20% de resíduo de concreto	3,74 Mpa
Souza et al. (2006)	40% de resíduo de concreto	5,18 Mpa
Souza et al. (2006)	60% de resíduo de concreto	6,96 Mpa
Lima et al. (2015)	Referência	1,67 Mpa
Lima et al. (2015)	10% de resíduo misto	2,03 Mpa
Lima et al. (2015)	20% de resíduo misto	1,59 Mpa
Lima et al. (2015)	30% resíduo misto	1,56 Mpa
Lima et al. (2015)	40% resíduo misto	1,74 Mpa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	Referência	3,40 Mpa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	20% de resíduo de concreto	3,74 Mpa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	40% de resíduo de concreto	5,18 Mpa
Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006)	60% de resíduo de concreto	6,96 Mpa
Bessa (2015)	10% de resíduo misto	2,03 MPA
Bessa (2015)	40% de resíduo misto	1,74 MPA

Tabela 5 – Influência do RCD na compressão dos tijolos com 28 dias de cura

Fonte: Os autores.



Em seus ensaios, Viana e Gonçalves (2017) obtiveram que os tijolos ecológicos com 50% de resíduo são os que apresentaram os melhores resultados, sendo uma alternativa viável.

No entanto, Copari e Oliveira (2016) notaram que em relação ao ensaio de compressão, os tijolos de solo-cimento analisados não obtiveram o resultado mínimo exigido por norma com adições de resíduos superiores a 15% e 35% respectivamente com exatos 7 dias de cura e ao serem comparados com o traço sem adição de resíduos, os mesmos não apresentaram resistência igual ou superior. Mas ao analisar os tijolos com 28 dias de cura, os mesmos traços obtiveram valores satisfatórios exigidos por norma. Com isso pode-se afirmar que o tempo de cura dos tijolos influencia na resistência à compressão.

Outro fator que impacta na qualidade dos tijolos é a qualidade do solo, em seus experimentos Faria et al. (2022) obteve resultados insatisfatórios em todos os seus corpos de prova, eles afirmaram que isso se deu, muito provavelmente, pela qualidade do solo que utilizam na composição dos corpos de prova. Com isso, percebe-se a necessidade de um solo adequado para a fabricação dos tijolos.

Portanto, pode-se concluir que, uma vez que os tijolos ecológicos compostos por RCD possuem as resistências mecânicas, sendo estas estabelecidas por normas, necessárias para a sua utilização nas construções, mas também, os estudos nos alertam para questões sobre a qualidade dos materiais utilizados para a composição, o tempo de cura e a concentração dos materiais nos tijolos.

### **3 | METODOLOGIA**

A pesquisa deste trabalho caracteriza-se como exploratória, experimental e quantitativa. Inicialmente, pode-se definir a pesquisa como exploratória, uma vez que buscou-se identificar e compreender as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos ecológicos produzidos a partir de RCD. Gil (2002) refere que a pesquisa exploratória tende a proporcionar maior afinidade com o problema de pesquisa, tornando-o mais claro ou permitindo a construção de hipóteses. No caso deste trabalho, o objetivo é aprofundar o entendimento sobre o comportamento dos tijolos ecológicos com substituição parcial do agregado por RCD.

Esta pesquisa também é classificada como experimental, pois envolve a realização de ensaios laboratoriais para analisar propriedades físicas e mecânicas das misturas, e os respectivos materiais utilizados na sua produção.

Por fim, a pesquisa adota uma abordagem quantitativa, visto que os resultados serão expressos em números e analisados estatisticamente, por meio de desvio padrão e coeficiente de variação. Uma vez que, neste estudo, a quantificação dos resultados permitirá a comparação das propriedades das misturas com RCD com de referência (0%), facilitando a análise da viabilidade técnica.

Este trabalho foi desenvolvido em três etapas, conforme a Figura 1, iniciando-se com uma revisão da literatura, seguida da realização dos experimentos práticos, concluindo com a análise estatística da parte experimental, bem como a comparação dos resultados com os apresentados pelos estudos levantados na revisão da literatura. A revisão bibliográfica tem como objetivo reunir e analisar estudos anteriores relacionados ao uso de RCD na produção de tijolos ecológicos.

A parte experimental envolveu a coleta e preparação dos RCDs, a produção da mistura, a preparação das amostras e a realização de ensaios laboratoriais para a avaliação de suas propriedades físicas e, por fim, a análise dos resultados.

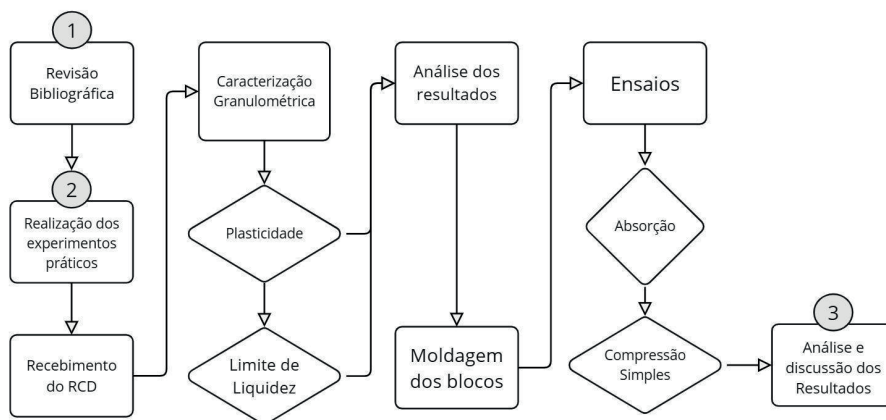


Figura 1 - Fluxograma das etapas desta pesquisa

Fonte: Os autores.

### 3.1 Materiais

Para a produção das amostras foram utilizados os seguintes materiais: RCD cimentício, solo, cimento Portland e água.

#### 3.1.1 Resíduos de construção e demolição

Os RCD utilizados, conforme a Figura 2, foram adquiridos por meio de doação e foram beneficiados no laboratório de Mecânica dos Solos do IFBA - Campus Salvador. O material foi proveniente de resíduos de argamassa. Os mesmos foram caracterizados quanto à classificação granulométrica e a massa específica, com base na NBR 7211 (ABNT, 2022) e NBR 6458 (ABNT, 2025), respectivamente.



Figura 2 – RCD resultante de argamassa, utilizado nesta pesquisa

Fonte: Os autores.

Optou-se por peneirar os RCD na peneira de 0,15 mm, utilizando a fração passante, com o objetivo de reduzir a absorção das misturas e permitir uma boa plasticidade às amostras. A Figura 3 traz o aspecto do RCD após o peneiramento.



Figura 3 – RCD após peneiramento na peneira de 0,15 mm

Fonte: Os autores.

### 3.1.2 Cimento

O cimento empregado foi o CP II Z 32, pois possui caracterização satisfatória para ser empregado na produção de solo-cimento e é um material facilmente encontrado nas lojas do ramo de materiais para a construção civil. A caracterização do material fornecida pelo fabricante consta na Tabela 5.

Caracterização Físicas	Limites Máximo	Resultados
Finura — Resíduo peneira #200 (%)	≤ 12,0	6,6
Finura — Resíduo peneira #325 (%)	NE	18,8
Área específica - Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	≥ 2600	3.604,00
Consistência normal (%)	NE	24,6
Início de pega (min)	≥ 60,0	179,00
Término de pega (min)	≤ 600	226,00
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	NE	2,96
Expansibilidade a quente (mm)	≤ 5,0	0,5
Resistência à compressão 1D (MPa)	NE	-
Resistência à compressão 3D (MPa)	≥ 10,0	23,00
Resistência à compressão 7D (MPa)	≥ 20,0	28,1
Resistência à compressão 28D (MPa)	≥ 30,0	35,5

Tabela 6 - Características físicas do cimento utilizado

**Fonte:** Dados do Boletim de Ensaios de Cimento, Votorantim (2025)

### 3.1.3 Solo

O solo utilizado, conforme a Figura 4, foi resultante de uma coleta feita no próprio campus do IFBA. O material foi destorroado e depois peneirado.



Figura 4 - Solo utilizado na confecção dos tijolos

Fonte: Os autores.

### 3.1.4 Água

A água foi proveniente da rede de abastecimento do IFBA – Campus Salvador.

## 3.2 Métodos

Na dosagem das misturas foram adotados três traços diferentes: referência (0% de RCD), 5% de RCD e 10% de RCD. Após a moldagem, as amostras foram submetidas a um processo de cura que durou 28 dias. Os corpos de prova foram moldados em formato cilíndrico e submetidos a ensaios laboratoriais para a avaliação das propriedades de resistência à compressão e absorção. Os ensaios deste trabalho foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos do IFBA, exceto a resistência à compressão, que foi realizada por uma empresa de construção civil da cidade de Salvador.

## 3.3 Caracterização do solo

### 3.3.1 Ensaio de plasticidade

O teste de plasticidade é fundamental para avaliar a capacidade do solo em ser moldado sem que se quebre ou perca a forma. Essa propriedade é crucial para a confecção das misturas de solo-cimento. O ensaio foi realizado seguindo os critérios da NBR 7180 (ABNT, 2016). A Figura 5 e a Figura 6 trazem a realização desse ensaio para o solo utilizado neste estudo.



Figura 5 - Ensaio de plasticidade.

Fonte: Os autores.



Figura 6 - Amostras do ensaio de plasticidade antes de irem para a estufa

Fonte: Os autores.

### 3.3.2 Ensaio do limite de liquidez

O objetivo do ensaio de limite de liquidez é determinar o teor de umidade no qual o solo passa da condição plástica para a líquida, caracterizando assim uma propriedade fundamental de sua consistência. Para isso, empregou-se os procedimentos descritos pela NBR 6459 (ABNT, 2016). A Figura 7 mostra a realização desse ensaio para o solo empregado neste trabalho.



Figura 7 - Ensaio do limite de liquidez

Fonte: Os autores.

### 3.3.3 Ensaio de granulometria

O teste de granulometria e sedimentação são necessários para determinar a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas no solo, influenciando diretamente suas propriedades mecânicas e na composição das misturas de solo-cimento e RCD. Esses

ensaios permitem avaliar a proporção de grãos finos, médios e grossos, auxiliando na adequação do material para a fabricação de tijolos ecológicos. O ensaio foi realizado seguindo os critérios da NBR 7181 (ABNT, 2018). A Figura 8 ilustra o ensaio de sedimentação, enquanto a Figura 9 ilustra o conjunto de peneiras utilizado no ensaio de granulometria.



Figura 8 - Ensaio de sedimentação

Fonte: Os autores.



Figura 9 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria

Fonte: Os autores.

### 3.4 Confeção das misturas de solo-cimento

#### 3.4.1 Traço utilizado

O processo de definição do traço foi fundamentado a partir de uma revisão bibliográfica que analisou trabalhos relacionados ao uso de RCD como material de substituição parcial de solo em tijolos. Baseando-se nos resultados apresentados na literatura, optou-se por trabalhar com um traço de 1:10, ou seja, uma parte de cimento para dez partes em massa, com variações de 5% e 10% de substituição de material convencional, solo, pelo RCD.

A Tabela 7 indica os traços utilizados neste trabalho. Já as figuras 10, 11 e 12 mostram as misturas de cada traço antes da adição de água.

Mistura	Traço unitário, em massa (cimento: areia)
Referência	01:10
CP-5%	1:10, com 5% de RCD
CP-10%	1:10, com 10% de RCD

Tabela 7 - Traços usados na composição das misturas

Fonte: Os autores.



Figura 10 - Mistura de solo-cimento sem adição de RCD

Fonte: Os autores.





Figura 11 - Mistura de solo-cimento com adição de 5% de RCD

Fonte: Os autores



Figura 12 - Mistura de solo-cimento com adição de 10% de RCD

Fonte: Os autores

As misturas foram fabricadas seguindo um processo bem definido. Primeiramente, os materiais foram pesados de acordo com o traço especificado e colocados em uma bandeja para a mistura inicial. Essa etapa teve como objetivo alcançar uma composição homogênea.

Após isso, foi adicionada água à mistura e ocorreu o processo de homogeneização, garantindo que todos os componentes estivessem uniformemente distribuídos.

As amostras compactadas foram retiradas do corpo de prova utilizando um extrator de amostras, o que permitiu preservar a integridade estrutural de cada unidade.

Por fim, os corpos de prova foram armazenados em um tanque no laboratório, onde permaneceram durante 28 dias para o processo de cura (Figura 13), sendo os primeiros

7 dias mantidos úmidos. Esse período de cura foi fundamental para que as misturas desenvolvessem a resistência e as propriedades finais desejadas.



Figura 13 - Amostras em descanso durante o período de cura

Fonte: Os autores.

### 3.4.2 Ensaio de Absorção

A determinação da absorção de água é um fator essencial na avaliação da qualidade dos tijolos ecológicos, pois influencia diretamente sua resistência e durabilidade ao longo do tempo. Esse ensaio permite verificar a quantidade de água absorvida, garantindo que os tijolos atendam aos requisitos estabelecidos para uso na construção civil. O ensaio foi realizado seguindo as diretrizes da NBR 8492 (ABNT, 2012). A Figura 14 mostra as amostras em estufa onde passaram 24 horas para secagem, enquanto a Figura 15 mostra as amostras durante o processo de imersão, evidenciando o procedimento adotado para a análise deste estudo.



Figura 14 - Amostras em estufa para secagem

Fonte: Os autores.



Figura 15 - Amostras submersas em água para o ensaio de absorção

Fonte: Os autores.

### 3.4.3 Ensaio de Compressão Simples

A resistência à compressão é um parâmetro fundamental na avaliação da qualidade dos tijolos ecológicos, pois determina sua capacidade de suportar cargas sem falhar. Esse ensaio teve como objetivo verificar se os tijolos atendem aos requisitos estabelecidos para uso na construção civil, garantindo sua segurança e durabilidade. O ensaio foi realizado conforme as diretrizes da NBR 8492 (ABNT, 2012), após um período de 28 dias de cura. Antes da realização do teste, foi feito um capeamento com nata de cimento, no traço 1:3, utilizando uma parte de água para três de cimento, com o objetivo de regularizar a superfície dos tijolos e garantir a distribuição uniforme da carga durante o ensaio de compressão na prensa hidráulica. As Figuras 16 e 17 apresentam o processo desse ensaio.



Figura 16 - Amostras após aplicação da nata cimentícia para regularização das superfícies superiores e inferiores

Fonte: Os autores.



Figura 17 - Amostra na prensa hidráulica utilizada para o ensaio de compressão

Fonte: Os autores

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados das propriedades avaliadas durante a realização do programa experimental, bem como, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

### 4.1 Caracterização dos materiais

#### 4.1.1 Limite de plasticidade e Limite de liquidez

O solo utilizado foi avaliado quanto ao índice de plasticidade, os resultados estão indicados na Tabela 8.

Mistura	Composição do solo	Limite de Plasticidade (%)
Referência	Solo natural	16,00
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	15,20
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	15,10

Tabela 8 - Resultados do ensaio do limite de plasticidade para os solos utilizados neste trabalho

Fonte: Os autores.

Os dados indicados na Tabela 8 mostram que a matéria-prima utilizada perde plasticidade conforme se adiciona RCD na composição. No entanto, essa diminuição da plasticidade não inviabiliza o uso do material reciclado.

Para o limite de liquidez (LL) foi montado o gráfico, conforme a Figura 18.

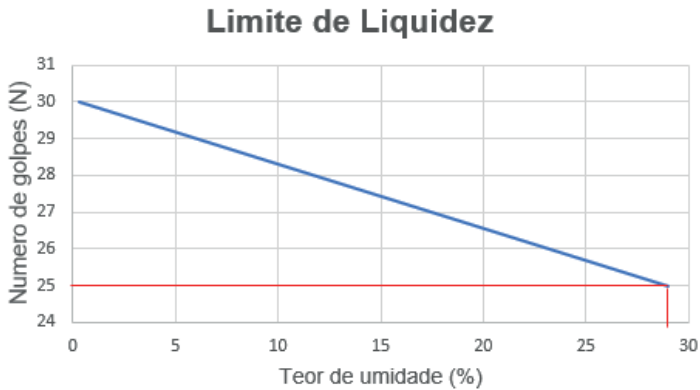


Figura 18 - Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo de referência

Fonte: Autores.

Conforme o gráfico da Figura 18, o LL para o solo de referência foi de 29%. Nas Figuras 19 e 20 temos os LL para os solos com adição do RCD nas proporções de 5% e 10%, respectivamente.

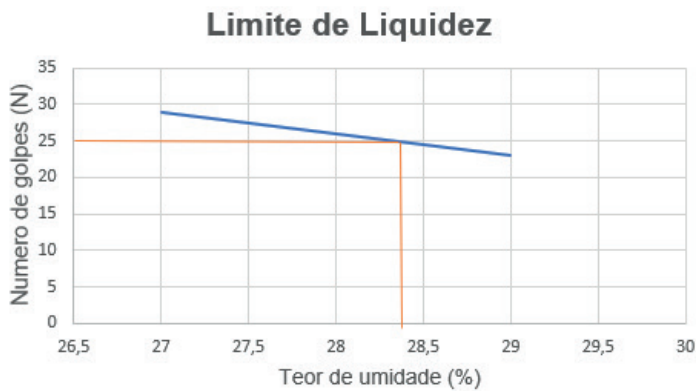


Figura 19 – Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo com 5% de RCD

Fonte: Autores.

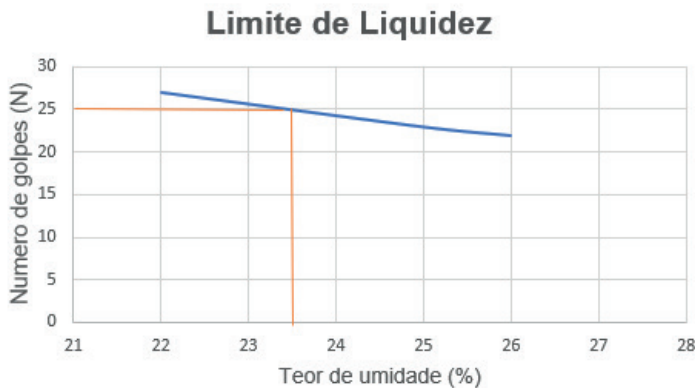


Figura 20 – Resultado no ensaio do limite de liquidez para o solo de referência

Fonte: Autores.

Conforme os gráficos das Figuras 18 e 19, os LL para o solo com adição de 5% de RCD e 10% de RCD foram de 28,4% e 23,5%, respectivamente.

Os dados da Tabela 9 trazem os resultados dos índices de consistência para os solos analisados.

Mistura	Composição do solo	Limite de Plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)	Índice de plasticidade
Referência	Solo natural	16,00	29	13
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	15,20	28,4	13,2
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	15,10	23,5	8,4

Tabela 9 - Resultados dos índices de consistência dos solos analisados

Fonte: Os autores.

De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), o limite de liquidez não pode ultrapassar o valor de 45%, e o índice de plasticidade não pode superar 18%, portanto, os valores obtidos para os solos analisados atendem aos critérios estabelecidos pela NBR 10833 (ABNT, 2012), indicando que o material se apresenta propício para a produção de tijolos ecológicos de solo-cimento.

#### 4.1.2 Granulometria dos solos

A análise granulométrica é essencial para compreender a distribuição das partículas do material analisado, influenciando diretamente nas propriedades mecânicas e absorção do tijolo produzido.

Aqui foram realizados ensaios para se determinar a composição granulométrica do solo no estado natural e das misturas com os resíduos estudados. A Figura 21 apresenta a

distribuição granulométrica do solo no estado natural. A amostra indica partículas que estão inseridas na faixa de areia, argila e silte. É importante salientar que a presença dos grãos menores, argilas (grãos menores que 0,002 mm) e siltes (grãos menores que 0,06 mm) só foram verificados por meio do ensaio de sedimentação.

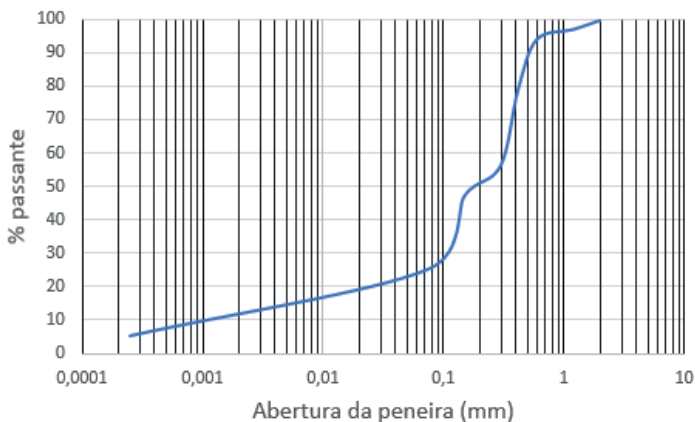


Figura 21 - Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo natural

Fonte: Os autores.

Conforme a curva de distribuição granulométrica, o material possui 76% de areia, 12% de silte e 12% de argila, atendendo ao que preconiza a NBR 10833 (ABNT, 2012) que determina que o solo deve conter uma porcentagem de 60 % a 80 % de areia para ser utilizado na produção de tijolos de solo-cimento.

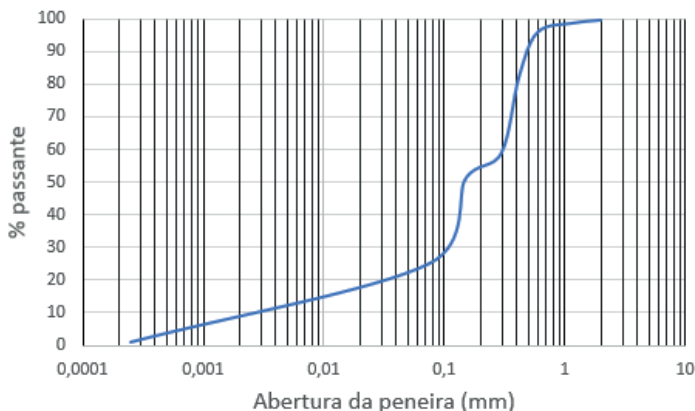


Figura 22 – Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo + 5% de RCD

Fonte: Os autores.

A amostra com inserção de 5% de RCD na composição apresentou uma maior presença de grãos menores que 0,002 mm. Esse resultado é decorrente do maior teor de material pulverulento na composição do RCD beneficiado, confirmando o que Souza, Segantini e Santos (2024) e Faria et al. (2022) verificaram em suas pesquisas. Resultado parecido pode ser observado para a mistura com 10% de RCD, porém a presença de finos na mistura foi maior.

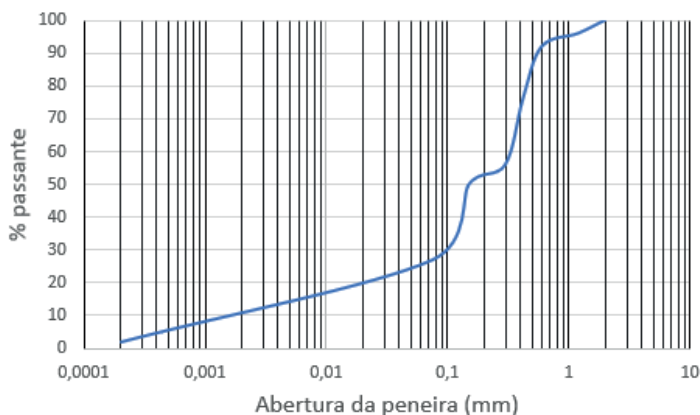


Figura 23 – Resultado do ensaio de granulometria para a amostra de solo + 10% de RCD

Fonte: Os autores.

As curvas granulométricas das misturas apresentaram aspectos semelhantes, o que já era esperado, considerando que os percentuais de RCD utilizados foram relativamente baixos. Dessa forma, as adições promoveram poucas alterações na distribuição granulométrica do material. No entanto, observou-se um aumento no teor de material pulverulento, ou seja, na fração de grãos menores que 0,002 mm. Esse resultado indica que o RCD beneficiado contribuiu para um maior conteúdo de finos na mistura, o que pode impactar propriedades como trabalhabilidade, absorção de água e resistência mecânica dos tijolos produzidos.

A presença de material pulverulento influencia diretamente a distribuição granulométrica, podendo impactar as propriedades físicas e mecânicas das misturas. No contexto da produção de tijolos ecológicos, a adequação dessa distribuição é essencial para garantir um bom desempenho em termos de compactação e redução da porosidade.

## 4.2 Ensaio de absorção por imersão

Os resultados médios dos valores de absorção das misturas estão mostrados na Tabela 10. Os valores de cada amostra foram apresentados no Apêndice A.



Mistura	Composição do solo	Absorção ± SD (CV) % ± % (%)
Referência	Solo natural	18,36 ± 0,3 (1,6)
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	15,77 ± 0,2 (1,3)
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	15,51 ± 0,5 (3,2)

Nota: SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação.

Tabela 10 – Resultado do ensaio de absorção dos tijolos

Fonte: Os autores.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção demonstram uma variação entre as diferentes amostras avaliadas. Os corpos de prova de referência apresentaram os maiores valores de absorção. Em contrapartida, as misturas CP-10% obtiveram os menores valores de absorção. Esses resultados são compatíveis com os observados na literatura, Ferraz; Segantini (2004), por exemplo, também utilizaram resíduo de argamassa para a produção de tijolos ecológicos e notaram uma redução da absorção. Os autores justificaram esse comportamento por meio do maior preenchimento de vazios que os RCD promovem na mistura.

Considerando os resultados do ensaio de absorção por imersão, foi verificado que as misturas com adição de RCD apresentaram melhor desempenho quando comparadas a de referência, com redução de absorção de 14,11% e 15,52%, para as amostras CP-5% e CP-10%, respectivamente.

### 4.3 Ensaio de resistência à compressão

Os resultados médios dos valores de compressão das misturas estão mostrados na Tabela 11. Os valores individuais de cada amostra estão apresentados no Apêndice A.

Mistura	Composição do solo	Fc28 ± SD (CV) MPa ± MPa (%)
Referência	Solo natural	2,00 ± 0,1 (5,6)
CP-5%	Solo + 5 % de RCD	2,25 ± 0,1 (3,9)
CP-10%	Solo + 10 % de RCD	2,60 ± 0,1 (4,1)

Nota: SD – desvio padrão; CV – coeficiente de variação, fc28 – resistência à compressão aos 28 dias de idade.

Tabela 11 – Resultado do ensaio de compressão dos tijolos

Fonte: Os autores.

A mistura CP-10% apresentou maior resistência, com 2,60 MPa. De forma geral, as médias para os ensaios de resistência à compressão indicam aumento da resistência conforme se adiciona RCD nos traços.

Os resultados indicam que a incorporação de RCD influencia níveis de resistência mecânica do material, possivelmente devido a alterações na estrutura interna, que aumenta a coesão entre as partículas.

Resultados compatíveis foram verificados por Souza et al. (2006) e Souza, Marcia Ikarugi Bomfim de (2006). Os autores indicam que esse comportamento é resultante de uma menor absorção, conseqüentemente, porosidade dos tijolos e, também, pela menor quantidade de vazios presentes na mistura, dado o efeito de preenchimento promovido pelos RCD.

Considerando os resultados do ensaio de resistência à compressão, foi verificado que as misturas com adição de RCD apresentaram melhor desempenho quando comparadas a de referência, com aumento de resistência de 11,11% e 23,08%, para as amostras CP-5% e CP-10%, respectivamente.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve como objetivo analisar a influência da substituição parcial do solo por RCD na confecção de tijolos ecológicos, considerando seus impactos na resistência à compressão e na absorção de água. Com base nos experimentos realizados, foi possível constatar que a adição de RCD nas misturas alterou significativamente as propriedades dos tijolos produzidos, promovendo melhorias relevantes nos parâmetros analisados.

Os resultados demonstraram que a incorporação de 5% e 10% de RCD na mistura de solo-cimento levou a uma redução na absorção de água em comparação a amostra de referência. Esse fenômeno pode ser atribuído à presença de material pulverulento no RCD, que preencheu parte dos vazios na estrutura dos tijolos, reduzindo sua porosidade. Tal comportamento é coerente com estudos prévios que indicam que a substituição de agregados naturais por RCD pode resultar em um menor coeficiente de absorção, contribuindo para a melhoria da durabilidade dos tijolos.

Em relação à resistência à compressão, observou-se um aumento progressivo nos valores obtidos conforme a porcentagem de RCD foi ampliada. O traço CP-10% apresentou os melhores resultados, atingindo resistências superiores ao mínimo estabelecido pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012). Esse resultado sugere que a adição de RCD na proporção adequada pode conferir maior coesão à mistura, possivelmente devido à interação entre as partículas finas do resíduo e a matriz cimentícia.

No entanto, é fundamental destacar que a utilização de RCD na fabricação de tijolos requer um controle rigoroso da composição e do beneficiamento desse material, uma vez que a presença excessiva de contaminantes pode comprometer a qualidade final do produto. Além disso, a escolha adequada do tipo de resíduo a ser empregado é essencial para garantir a reprodutibilidade dos resultados e a viabilidade da aplicação em larga escala.

Diante do exposto, conclui-se que a incorporação de RCD em tijolos ecológicos é uma alternativa promissora para a gestão de resíduos da construção civil, proporcionando uma destinação mais sustentável para esses materiais e reduzindo a extração de recursos naturais. Os resultados obtidos reforçam a importância de estudos adicionais que avaliem o desempenho desses tijolos em condições reais de uso, além da investigação de outras proporções de substituição e diferentes tipos de resíduos. Assim, este trabalho contribui para o avanço das pesquisas na área de construção sustentável, abrindo caminhos para novas soluções inovadoras e ecologicamente responsáveis.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos, Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios, Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6458**: Solos - Determinação da massa específica dos sólidos, da massa específica aparente e da absorção de água da fração retida na peneira com abertura de 2,0 mm, Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: Agregados para concreto - Requisitos, Rio de Janeiro, 2016.

Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2024.

BAZUCO, Régis Sandro. **Utilização de agregados reciclados de concreto para a produção de novos concretos**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

**BRASIL.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 307/2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Legislação. Brasília, DF, Seção 1, p. 95, 2002.

Cho, Y. H; Yeo, S. H. (2004) Application of recycled waste aggregate to lean concrete subbase in highway pavement. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 31, n. 6, p. 1101–1108.

FARIA, C. E. G.; LOPES, D. A; AGUIAR, E. A; MARIANO, W. R. **O estudo e aplicação de RCD como agregados em tijolos de solo cimento**, São Paulo, 2022.

Ferraz, A. L. N., & Segantini, A. A. da S. (2004). **Estudo Da Aplicação De Resíduo De Argamassa De Cimento Nas Propriedades De Tijolos De Solo-Cimento**. Holos Environment, 2004.

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

GONÇALVES, P. H. **Planejamento e gerenciamento do resíduo sólido de construção e demolição – estudo de casos goianos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

HANSEN, T.C. Recycled of demolished concrete and masonry. London: Chapman & Hall, 1992. 316 p. **Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete**, p.1-160.

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. 59º **Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo: IBRACON, 2017

JOHN, Vanderley Moacyr. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. Tese (Livre Docência em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. doi:10.11606/T.3.2000.tde-27072022-082553. Acesso em: 04 fev 2025.

LARUCCIA, M. M. **Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil**. Guarulhos-SP: 2014.

LEITE, M B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LIMA, Almeida; FREITAS, Silva. **Análise da viabilidade do uso do RCD na produção de blocos de solo-cimento**. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS (CONPAT), 2015, Lisboa.

LIMA, S. F. de. **Introdução ao conceito de sustentabilidade: aplicabilidade e limites**. 2006.

LIRA, D. S. **Tijolos ecológicos: estudo de viabilidade técnica no uso de agregados reciclados de resíduos da construção civil classe A**. São Carlos-SP, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/13300>> Acesso em: 17 de Jul. de 2024

MONTEIRO, R. R; AMARAL, D. S. P; DELGADO, Stefani Fonseca. **Utilização de resíduos provenientes da construção e demolição de reforma residencial como agregado miúdo para fabricação de concreto**. Revista Teccen. Rio de Janeiro, 2017.

NOGUEIRA, G. R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação.** Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <[https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC\\_Vers%C3%A3oFinal.pdf](https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Vers%C3%A3oFinal.pdf)> Acesso em: 15 ago. 2024.

NOGUEIRA, L. G. S. **Utilização de RCD de confecção de um concreto sustentável.** Brasília, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6363/1/20916233.pdf>> Acesso em: 15 ago. 2024.

PEREIRA, A. M. **Utilização de resíduos de construção e demolição na produção de tijolo ecológico.** Caratinga, 2018. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/187>> Acesso em: 16 ago. 2024.

PEREIRA, R. **Por que a Indústria Sustentável é importante para o futuro? NG - A inovação está em nosso DNA.** 2023. Disponível em: <<https://www.ngi.com.br/blog/industria-sustentavel/>> Acesso em: 15 ago. 2024.

RICCI, G.; BALBO, J. T. **Resistência e elasticidade de concretos compactados com agregados reciclados de construção e de demolição para aplicações em pavimentação.** TRANSPORTES, [S. l.], v. 17, n. 2, 2009.

Segantini, A. A. S; WADA, P. H. **Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição.** Ilha Solteira: Universidade Estadual Paulista, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/9377/9377>> Acesso em: 20 abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (SINIR). Inventário Nacional de Resíduos Sólidos, 2024.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** 2006. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2006.

SOUZA, M. I. B; SEGANTINI, A. A. Silva; SANTOS, J. ; SILVA, J. P. N. **Tijolos prensados de solo-cimento com adição de resíduos de concreto.** 2006. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200045&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200045&script=sci_arttext)>. Acesso em: 19 abr. 2024.

VIANA, I. F. M; GONÇALVES, L. F. **Resistência à compressão de tijolos ecológicos a partir de resíduos de construção e demolição.** Caratinga-MG, 2017.

## APÊNDICE A

Mistura	Absorção (%)		
	Determinação 1	Determinação 2	Determinação 3
Referência	18,63	18,10	-
CP-5%	15,95	15,60	-
CP-10%	15,31	15,10	16,14

Tabela 12 – Resultados individuais do ensaio de absorção

Mistura	F <sub>c</sub> 28 (MPa)		
	Determinação 1	Determinação 2	Determinação 3
Referência	1,90	1,97	2,12
CP-5%	2,32	2,15	2,28
CP-10%	2,51	2,66	-

Tabela 13 – Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão

# ANÁLISE DE ACIDENTES DA LINHA FÉRREA DA MALHA DA FERROESTE ENTRE LARANJEIRAS DO SUL E GUARANIAÇU - PR

---

*Data de submissão: 27/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Elmagno Catarino Santos Silva**

Universidade Federal do Sul da Bahia -  
UFSB  
Teixeira de Freitas – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/4875271665841855>

### **Felipe Eduardo Favreto**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná - UTFPR  
Toledo - Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/6748385693427361>

### **Maurício do Espírito Santo Andrade**

Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ  
Macaé - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/8604635938341817>

### **Gladis Cristina Furlan**

Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná – UTFPR  
Toledo - Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/5786315637913516>

### **Zélia da Paz Pereira**

Universidade Federal do Sul da Bahia -  
UFSB  
Teixeira de Freitas – Bahia  
<http://lattes.cnpq.br/7206021893451350>

**RESUMO:** A análise de acidentes ferroviários é imprescindível para a determinação de suas causas, o que possibilita diminuir suas ocorrências e minimizar seus impactos. Nesse âmbito, a presente trabalho realizou um estudo em um trecho considerado crítico da malha ferroviária da Ferroeste. Para o alcance do objetivo principal, definiram-se como objetivos específicos o reconhecimento do trecho estudado, a identificação das principais causas que levam aos acidentes no trecho, a descrição dessas causas e a proposta de soluções para os problemas identificados. Para a realização dessa pesquisa decidiu-se pela utilização do Estudo de Caso como abordagem metodológica mais adequada, pois esta busca investigar um fenômeno real com o intuito de compreender o evento, desenvolver hipóteses dos motivos de sua ocorrência e propor soluções para a resolução do problema. Assim, a coleta de dados envolveu uma visita ao trecho estudado e o recolhimento de documentos e informações a respeito do mesmo e dos acidentes que acontecem no local. Ao final desta etapa, com base em todos os dados coletados, realizou-se o cruzamento dessas informações e constatou-se que os principais problemas do trecho são

com relação à queda de barreira e a irregularidades relativas com a manutenção da Via Permanente. Uma das causas de deslizamentos no trecho deve-se a identificação errônea do material da encosta em sondagem geotécnica para implantação da ferrovia. Outro ponto se refere ao mau estado de conservação da Via Permanente, onde se observou problemas como via desnivelada, dormentes danificados e com armaduras expostas a intempéries e mau funcionamento em elementos do sistema de drenagem. Como proposta de solução a estes problemas, sugere-se a realização de novos estudos por meio de sondagem diretas e indiretas para a escolha mais adequada de obras de contenção. Essas serão capazes de sanar os problemas de deslizamento encontrados e a implantação de um contorno ferroviário para o trecho, que possibilitaria o funcionamento da ferrovia enquanto é realizada sua manutenção. Recomenda-se também, uma maior periodicidade de manutenção na linha férrea.

**PALAVRAS-CHAVE:** Queda de barreira; Acidentes em Ferrovias; Ferroeste.

## ACCIDENT ANALYSIS OF THE FERROESTE RAILWAY LINE BETWEEN LARANJEIRAS DO SUL AND GUARANIAÇU - PR

**ABSTRACT:** The analysis of railway accidents is essential for the determination of their causes, which makes possible to reduce their occurrences and minimize impacts. In this context, the present work carried out a study in a section considered critical of the railway network of Ferroeste. To reach the main objective, specific objectives were defined as the recognition of the section studied, the identification of the main causes that lead to accidents in the stretch, the description of these causes and the proposal of solutions to the identified problems. A Case Study was the more appropriate methodological approach, since this research seeks to investigate a real phenomenon in order to understand the event, to develop hypotheses of the reasons for its occurrence and to propose solutions for problem solving. Thus, the data collection involved a visit to the section studied and the collection of documents and information regarding the same and the accidents that occur in the place. At the end of this stage, based on all the data collected, the information was cross-checked and the main problems of the section were related to the fall in barriers and relative irregularities with the maintenance of the Permanent Via. One of the causes of landslides in the stretch is the erroneous identification of the slope material in geotechnical survey for the implantation of the railroad. Another point refers to the poor state of conservation of the Permanent Way, where problems such as uneven road, damaged sleepers and sleeper frames exposed to weatherproofs and malfunctioning of elements of the drainage system were observed. As a proposal for a solution to these problems, it is suggested that new studies be carried out through direct and indirect sondages for the most appropriate choice of containment works. These will be able to solve the problems of landslides and the implementation of a railroad contour for the stretch, which would enable the operation of the railroad while its maintenance is carried out. It is also recommended, a greater periodicity of maintenance in the railway line.

**KEYWORDS:** Fall of barrier; Accidents in railways; Ferroeste.



## 1 | INTRODUÇÃO

O transporte de cargas é um importante agente para o crescimento e prosperidade de uma região, pois é através dele que se realiza o escoamento de bens e insumos (FALCÃO, 2013). O valor a ser pago por esse tipo de serviço é considerado como um indicador básico da economia de um país. No Brasil, por exemplo, em torno de 11% do Produto Interno Bruto é relacionado a custos logísticos de transportes, o que só consolida sua relevância (MARCHETTI; FERREIRA, 2012).

A modalidade ferroviária apresenta uma série de vantagens em relação a rodoviária, principalmente na longa distância, tais como custos de manutenção e custos relacionados a serviços tarifários mais baratos e menor índice de acidentes, além de ser menos poluente e mais eficiente energeticamente em sua operação. Dessa forma, para um país com as características geográficas do Brasil, a ampliação das ferrovias no setor de transportes só traria benefícios e melhorias para o escoamento da produção nacional (LANG, 2007).

Embora as ferrovias sejam vistas como o sistema de transporte mais adequado para os padrões brasileiros, o emprego e investimento nesse modelo é limitado em detrimento do rodoviário. De fato, hoje as estradas rodoviárias são as principais e mais utilizadas vias dentro da logística de transporte de cargas brasileira (MARCHETTI; FERREIRA, 2012). Segundo dados da Empresa de Planejamento e Logística (EPL), empresa pública com o objetivo de qualificar o planejamento integrado de logística no Brasil, para a matriz nacional as rodovias chegam a representar 65% do total de carga movimentado, enquanto as ferrovias representam cerca de apenas 15% (ASSIS et al., 2017).

As atuais malhas ferroviárias nacionais desempenham um papel significativo na economia por serem responsáveis por realizar o transporte de *commodities*, principalmente grãos, farelos e granéis sólidos como minérios de ferro; apesar disso, o modal em si ainda é pouco explorado em relação a seu potencial (FALCÃO, 2013).

Observando-se a ampla necessidade de se fomentar esse tipo de sistema devido a sua importância para o contexto da infraestrutura de transportes nacional, compreende-se a necessidade de investimento em projetos de ferrovias (MARCHETTI; FERREIRA, 2012), e seu desenvolvimento de forma correta, a fim de evitar a ocorrência de erros, sejam eles de projeto ou de execução, capazes de provocar danos a malha ferroviária.

Sabendo que acidentes são nocivos à segurança e ao desempenho de uma ferrovia, é importante conhecer suas causas a fim de diminuir ou eliminar sua ocorrência e assim amenizar seus efeitos. Pensando nisso, realizou-se um estudo de caso entre os km 164 + 500m e 171 + 500m da malha da empresa Ferroeste, buscando entender quais as principais causas responsáveis por provocar acidentes nesse trecho.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Definiu-se como área de estudo um trecho de malha férrea da empresa Ferroeste compreendido entre os km 164 + 500m e 171 + 500m entre as cidades de Laranjeiras do Sul e Guaraniaçu, no estado do Paraná. A escolha pelo trecho estudado ocorreu devido aos constantes acidentes que vêm acontecendo no local supracitado. Vale ressaltar que a própria Ferroeste se demonstrou interessada em fazer um registro sobre as ocorrências e buscar soluções viáveis para as mesmas.

Atualmente, este trecho, em virtude dos acidentes, possui restrição de velocidade na via, sendo a velocidade máxima autorizada (VMA) aquela que garante que o trem consiga realizar uma parada dentro da metade de seu campo de visão (RUMO, 2015).

A Figura 1 traz a delimitação do trecho em estudo. Essa delimitação inicialmente se deu a partir das coordenadas planas da rodovia BR 277 e do estaqueamento da ferrovia, ambas fornecidas pela Ferroeste, onde em seguida foram lançadas no *Google Earth*, permitindo a delimitação apresentada abaixo.

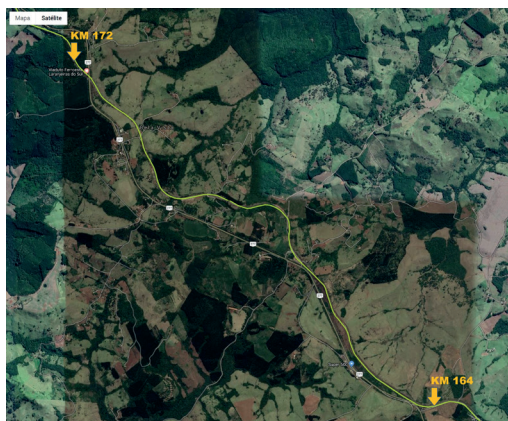


Figura 1 - Delimitação de trecho de estudo

Fonte: Adaptado da ANTT (2019).

### 2.2 COLETA DE DADOS

Essa é a etapa caracterizada pela busca de informações a respeito do trecho em estudo, tais como seu *modus operandi*, as características da via ao longo do trecho e em seus arredores, os tipos de acidentes que a acometem e a frequência com que estes ocorrem.

### 2.2.1 Coleta in loco

Realizou-se no dia 17 de abril de 2019, uma visita a campo no intuito de conhecer o trecho definido e coletar informações que identificassem os problemas presentes naquele local. A visita foi marcada com o engenheiro responsável pela manutenção da Via Permanente da Ferroeste, que acompanhou a visita, indicando os locais no trecho em que ocorriam os principais problemas.

O acesso ao local se deu através de quatro passagens de nível, de forma que utilizou-se um veículo automotor para se chegar até elas. Em seguida, para o reconhecimento do trecho estudado, percorreu-se o mesmo a pé.

A identificação dos possíveis eventos que vêm acontecendo se deu por meio de imagens fotográficas obtidas pelo celular Iphone SE, com câmera de 12 Megapixels e resolução de 4290x2800 pixels.

Por fim, no intuito de referenciar os dados coletados na visita, obteve-se a indicação da latitude, longitude e altitude do local dados em metros, as quais foram obtidas utilizando um aplicativo de geolocalização *Simple GPS*.

### 2.2.2 Coleta de dados e documentos referentes ao trecho

Outra importante parte da coleta de dados foi uma análise documental referente ao mais recente Boletim de Restrição da Via, fornecido pelo Engenheiro responsável pela Manutenção da Via. Esses boletins são informativos documentados do trajeto ao longo de toda extensão da malha da Ferroeste, indicando restrições de velocidade, informações sobre as condições da via, trabalhos de manutenção ou qualquer outro tipo de problema aparente na via. Ou seja, os boletins são instrumentos utilizados para segurança do trabalho nas vias, conforme consta no Anexo B. Além do Boletim de Restrição da Via, o engenheiro também forneceu, para estudo, os projetos em planta e em perfil referentes aos km 167 + 000 e 171 + 000 do trecho em estudo.

Posteriormente, procurou-se conversar com funcionários da Ferroeste, a fim de obter imagens ou outro tipo de informação que contribuísse com a pesquisa em questão. Vale ressaltar que um dos maquinistas disponibilizou algumas imagens de acidentes que acometeram o trecho, tais fotos estão presentes no Anexo A.

## 3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos dados coletados sobre o trecho em estudo, realizou-se o cruzamento dessas informações e obteve-se assim, indicadores de problemas presentes tanto na Via Permanente quanto em seus entornos, que seriam os principais responsáveis para a ocorrência de acidentes na ferrovia.

O levantamento de hipóteses para os motivos de acidentes no trecho fez-se em cima dos principais problemas identificados, sendo estes a queda de barreira e irregularidades na estrutura da Via Permanente. Para esses problemas foram então formulados prognósticos para os motivos de suas ocorrências, e apresentadas possíveis soluções para cada caso.

### **3.1 QUEDA DE BARREIRA**

A partir das Figuras 18a, 18b e 19 do Anexo A e da verificação dos motivos de restrição relatados para o trecho no Anexo B, pode-se perceber que um dos principais problemas encontrados é com relação à queda de barreira, que é o nome dado a diferentes tipos de movimentos de massa (quedas de blocos rochosos, escorregamentos de solo e detritos, rolamentos de blocos rochosos, entre outros) provenientes das encostas e taludes próximas à malha ferroviária que incidem diretamente sobre a ferrovia e seus entornos.

A queda de barreira é um problema grave para a ferrovia, tendo como exemplo, que um possível choque de uma locomotiva com um bloco que caia sobre os trilhos pode causar incidentes como descarrilamentos e tombamentos e provocar perdas no material rodante, na via permanente, extravios na carga transportada, além do risco a vida humana do operador da locomotiva.

Além disso, percebe-se pelo Anexo B, que o trecho possui uma velocidade restritiva devido à queda de barreira. Isso acontece para que o maquinista ao avistar uma situação de deslizamento sobre a pista, consiga paralisar a locomotiva a tempo de evitar o acidente. No entanto, essa paralisação também é problemática, pois a carga transportada fica estacionada no local até a chegada da equipe de manutenção para liberação da via, o que acaba afetando assim o desempenho de transporte da ferrovia.

Na visita ao trecho, pode-se identificar que existem diferentes tipos de deslizamentos que acometem a via, tais como: rolamentos de blocos rochosos conforme Figuras 2, 3 e 4. Escorregamentos de volumes de solos e material rochoso

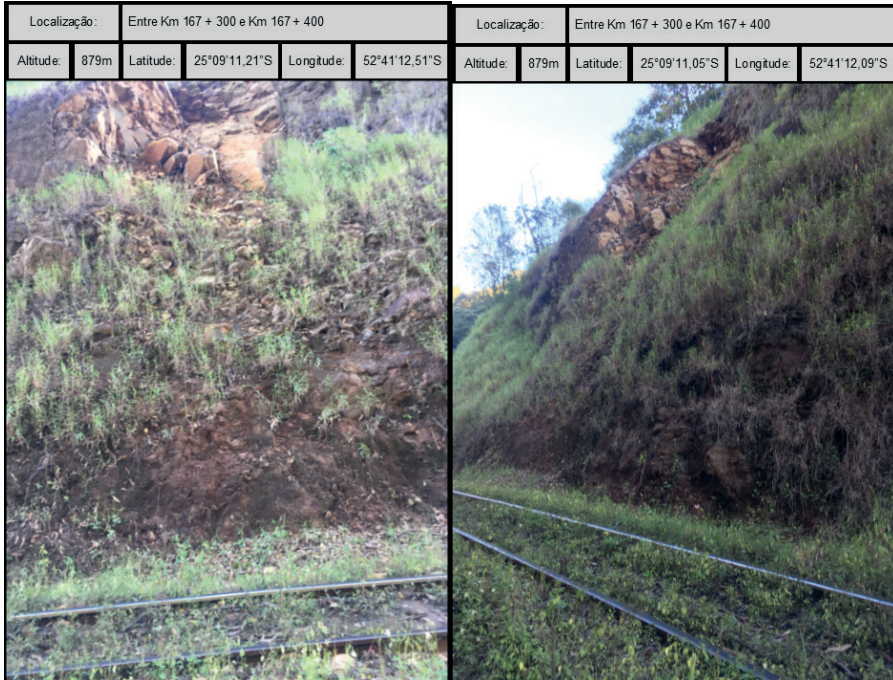


Figura 2 – Encosta com risco de rolamento de blocos próxima a ferrovia

Fonte: Autor (2019)

(detritos) conforme Figuras 5 e 6; e quedas de blocos rochosos das encostas conforme Figuras 7 e 8. No entanto, apesar da Ferroeste indicar que no trecho ocorre a “queda de barreira”, a empresa não faz distinção dos diferentes tipos de deslizamento, englobando todos eles nesse mesmo parâmetro.

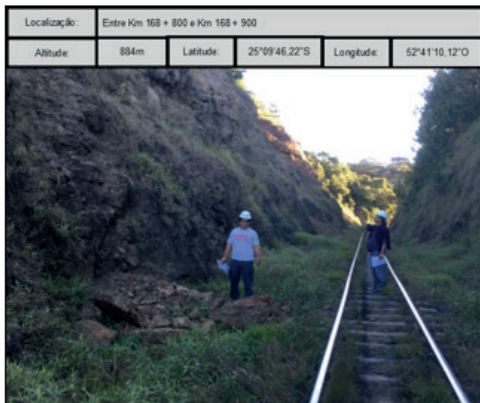


Figura 3 - Queda de blocos devido a rolamento próximo a ferrovia

Fonte: Autor (2019).

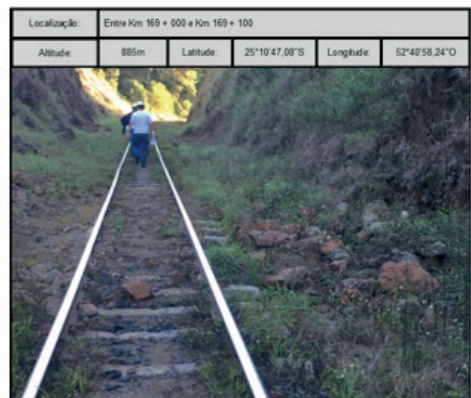


Figura 4 - Deslizamento de rochas na ferrovia e proximidades

Fonte: Autor (2019).

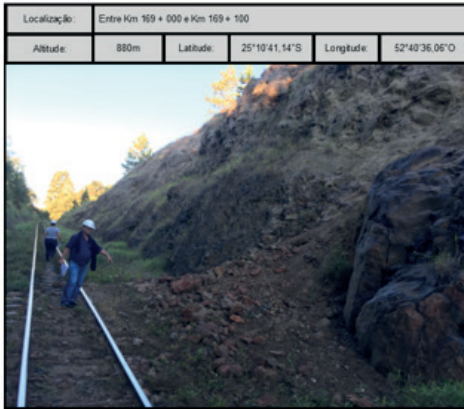


Figura 5 - Escorregamento de solo e detritos atingindo a Via permanente

Fonte: Autor (2019).

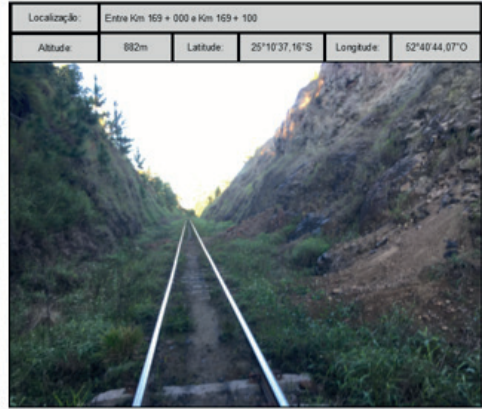


Figura 6 - Escorregamento de solo atingindo a Via permanente

Fonte: Autor (2019).



Figura 7 – Encosta com risco de Queda de Blocos

Fonte: Autor (2019)

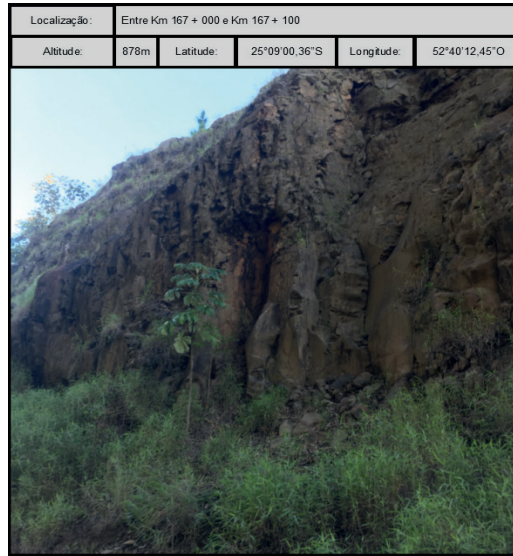


Figura 8 – Encosta adjacente a ferrovia apresentando queda de Blocos

Fonte: Autor (2019)

Seria importante para a empresa conceber uma correta identificação desses diferentes tipos de deslizamento, visto que por serem distintos, cada um destes possui causas e resultados diferentes, além de também apresentar soluções e formas de tratamento distintas.

Uma das possíveis causas, que foi discutida com o engenheiro responsável pela manutenção da via permanente, é que a sondagem realizada para identificar o tipo de solo no local para a implantação da ferrovia possuía erros em alguns pontos. Pela Figura 9 pode-se observar que no projeto em perfil da via se descreve que o local em que foi implantada a ferrovia possuía uma grande quantidade de solo com material de 3° categoria, mas, na visita ao trecho, pode-se perceber que ao invés disso, havia predominância de um material intermediário, entre 2° e 3° categoria, não sendo uma camada composta completamente por material rochoso, conforme pode ser visto nas Figuras 10 e 11.

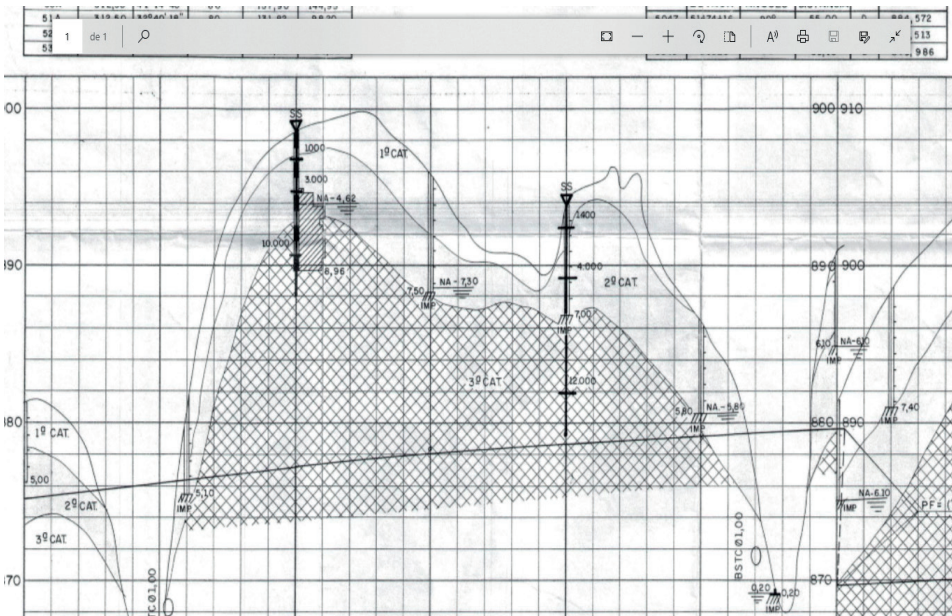


Figura 9 – Seção do projeto em perfil do km 168 + 500m até km 168 + 560m.

Fonte: Adaptado de Ferroeste (2019).



Figura 10 - Encosta com material de 2º e 3º categoria

Fonte: Autor (2019).



Figura 11 - Encosta com material de 2º e 3º categoria

Fonte: Autor (2019).

Como proposta de solução para esses problemas, sugere-se a realização de novos estudos de sondagem e geotécnicos no local que permitam fazer a escolha mais adequada para implantação de alguma obra ou obras de contenção que consigam ser eficientes para todos os problemas de deslizamento encontrados.



Outra proposta de solução para os problemas, seria a implantação de um contorno ferroviário para o trecho, em razão de a ação tomada pelo maquinista ao observar uma situação de queda de barreira na pista é parar o trem para evitar o choque com o material rochoso. Como ocorrem regularmente situações de queda de barreira na via, também acontecem diversas paradas das locomotivas, tais como a apresentada na Figura 20. Desta forma, seria interessante haver um contorno para que a ferrovia não tivesse seu trabalho parado até a chegada da equipe de manutenção e retirada do material, de forma que assim houvesse uma melhora de desempenho ferroviário.

No entanto estas duas propostas de soluções podem acabar possuindo um custo de implantação muito elevado, assim, outra alternativa para os problemas evidenciados é a criação de um programa de manutenção preventiva para ferrovia. Tal manutenção deve ocorrer nos períodos em que não esteja trafegando um veículo férreo na pista, e deve garantir que a via esteja sempre em condições de tráfego, realizando sua desobstrução e reparos, sendo portanto a alternativa menos onerosa e assim a mais viável para os problemas apresentados.

### 3.2 PROBLEMAS DE MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE

Outro problema identificado durante a visita ao trecho foi o mau estado de manutenção da Via Permanente em diversos pontos, como se observa nas Figuras 12 e 13 em que a vegetação invade tanto o entorno quanto a própria ferrovia.



Figura 12 - Vegetação invadindo a Via Permanente

Fonte: Autor (2019).



Figura 13 - Presença de Água no Talude Ferroviário

Fonte: Autor (2019).

Além disso, outro fator verificado causado tanto pela invasão da vegetação quanto pelas corridas de terra e corridas de detritos, é que em muitos locais a instalação do sistema de drenagem da via têm acarretado mau funcionamento, isso pode ser visto pelo

acúmulo de água nos taludes ferroviários (Figuras 13 e 14), além da presença de um solo de aparência arenosa (Figura 15), indicando que o talude ferroviário sofreu um processo de assoreamento.



Figura 14 - Presença de água, vegetação e rochas ao lado da pista

Fonte: Autor (2019).



Figura 15 - Presença de vegetação e solo arenoso no talude ferroviário

Fonte: Autor (2019).

Um dos motivos para a falha do sistema de drenagem é que a vegetação, além do carreamento de partículas de solos como areias e outros transportados por chuva, vento ou gravidade vão se acumulando e obstruindo os elementos do sistema de drenagem. Pode-se perceber, por exemplo, que a camada do Lastro que tem como uma de suas funções realizar uma drenagem primária da via, estava completamente preenchida em alguns lugares, como apresentado na Figura 16.



Figura 16 - Acúmulo de solo na linha Férrea

Fonte: Autor (2019).

Ao processo de preenchimento dos vazios da camada do Lastro por partículas menores, dá-se o nome de colmatação.

Identificou-se também problemas em elementos da estrutura da Via Permanente, mais especificamente, haviam dormentes quebrados e em mal estado de conservação, percebe-se pela Figura 17 que a armadura está exposta em um dos dormentes, sendo coberta por uma camada de lama que pode causar a ferrugem do material e inutilização do dormente em si. Ainda observando a mesma, nota-se que houve uma perda da camada granular da ferrovia, ocasionando assim problemas estruturais naquele local.



Figura 17 – Falhas nos dormentes

Fonte: Autor (2019).

Outro elemento relatado no Boletim de Restrição presente no Anexo B, é com relação a via desnivelada. Durante a visita pode-se perceber em alguns locais que um dos trilhos possuía um certo abaulamento em relação ao outro, sendo assim caracterizado como um empeno do trilho. Tal problema pode ter surgido devido a vários fatores, tais como a fadiga devido ao tempo de uso, excesso de carga transportada, problemas de fabricação do trilho, variações climáticas entre outros. A solução para esse problema pode ser uma correção mecânica com auxílio de material e maquinário adequado.

De fato, grande parte dos problemas relacionados a esse tópico poderiam ser sanados se houvesse um maior gerenciamento da equipe de manutenção da Via Permanente, claro que existem fatores que tendem a limitar a ação da equipe, como o difícil acesso a alguns locais da ferrovia, disponibilidade de maquinário necessário para realização de reparos, tempo de deslocamento até o local entre outros, apesar disso, fica

evidente que a realização de uma maior manutenção preventiva melhoraria em grande parte os problemas descritos nesse tópico.

## 4 | CONCLUSÃO

A Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A - FERROESTE, é a empresa responsável por operar uma malha ferroviária compreendida entre as cidades de Guarapuava e Cascavel. A ferrovia possui 248,6 quilômetros de extensão, sendo de grande importância para o setor agrícola da região Oeste do estado, já que, através dela, cerca de 1,5 milhões de toneladas de *commodities* são transportadas por ano.

No entanto, existem trechos em sua malha considerados como “críticos”, isto devido ao fato de acontecerem acidentes nesses locais de forma recorrente. Um acidente ferroviário pode gerar uma série de danos, com diferentes graus de consequência. Assim conhecer suas causas é importante a fim de tomar medidas necessárias para prevenir que novos acidentes venham a acontecer.

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo de caso no trecho compreendido entre os km 164 + 500 e 171 + 500 da linha férrea da Ferroeste. Para realizar o estudo, primeiramente fez-se o reconhecimento do trecho estudado, indo até o local e coletando dados e documentos referentes ao mesmo, a fim de identificar quais eram as causas dos acidentes no trecho.

Na análise pode-se perceber quais eram os fatores que mais influenciavam cada tipo de ocorrência, e assim pude propor as soluções que foram consideradas mais adequadas para cada situação. O principal problema do local era com relação a “queda de barreira”, que é o nome dado aos deslizamentos das encostas e taludes sobre a via férrea. No entanto, tal termo engloba diferentes tipos de deslizamentos que acometem a via, e que possuem causas diferentes, sendo discutidas possíveis soluções para o problema identificou-se que a criação de um programa de manutenção preventiva no local seria uma alternativa economicamente mais viável do que a instalação de um obra de contenção ou a implantação de um contorno ferroviário no local.

Outro aspecto relevante da visita ao trecho foi perceber como a via férrea possuía problemas de manutenção em diversos pontos, entre eles destaca-se a presença de dormentes quebrados, trilhos com empeno, colmatação do lastro, elementos do sistema de drenagem apresentando mau funcionamento. É interessante notar que todos esses problemas poderiam ser minimizados com um melhor gerenciamento da via permanente pela equipe de manutenção, dessa forma, a sugestão principal é novamente a criação de um melhor programa de manutenção preventiva na via, a fim de garantir que o desempenho operacional nela sempre alto.

Assim sendo, o objetivo geral e os específicos desse trabalho foram alcançados com sucesso, no entanto, essa não foi uma tarefa fácil. As principais dificuldades encontradas

foram a visita ao trecho, que era em uma cidade distante da qual resido, além disso, a entrada em alguns locais do trecho da ferrovia era de difícil acesso, isso limitou bastante a coleta de dados no trecho, já que em minha ida para a ferrovia, tive que concentrar meus estudos nos locais em que as encostas e taludes estavam próximos à ferrovia. Outra dificuldade foi com relação a obtenção de dados sobre o local, pois poucos documentos relativos ao trecho e seu histórico de acidentes foram fornecidos pela empresa.

Dessa forma, desse estudo surgem questões que podem ser respondidas com outras pesquisas mais aprofundadas no trecho, uma das sugestões é realizar um estudo geotécnico buscando entender qual o tipo de solo que existe no local, além dos possíveis motivos para cada um dos tipos de deslizamentos. Tal estudo vai auxiliar a Ferroeste a escolher qual seria a melhor obra de contenção para o trecho, ou ainda realizar uma análise para a implantação de um projeto geométrico de um contorno ferroviário que possa ser utilizado toda vez que um acidente acontecer no trecho.

## REFERÊNCIAS

ASSIS, Ana Carolina Velloso; SILVA, Cleverson Aroeira da; MARCHETTI, Dalmo dos Santos; DALTO, Edson José; RIOS, Evaristo; FERREIRA, Marcelo de Almeida.. **Ferrovias de carga brasileiras: uma análise setorial**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 46 , p. 79-126, set. 2017.

FALCÃO, Viviane Adriano; **A Importância do Transporte Ferroviário de Carga para Economia Brasileira e suas Reais Perspectivas de Crescimento**. Artigo da Revista Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Braga, Portugal, 2013.

LANG, Aline Eloyse; **As ferrovias no Brasil e avaliação econômica de projetos: uma aplicação em projetos ferroviários**. 2007. 151 f. Dissertação (Mestrado em Transportes Urbanos)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MARCHETTI, Dalmo dos Santos; FERREIRA, Tiago Toledo. **Situação atual e perspectivas da infraestrutura de transportes e da logística no Brasil** In: BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012.

RUMO LOGÍSTICA OPERADORA MULTIMODAL S/A. **Regulamento Operacional**. Curitiba, 2015.

## ANEXO A – OCORRÊNCIAS SOBRE O TRECHO 164 + 500 E 171 + 500



Figura 18a - Queda de barreira

Fonte: Ferroeste (2019).



Figura 18b - Queda de barreira

Fonte: Ferroeste (2019).



Figura 19 - Deslizamento de detritos.

Fonte: Ferroeste (2019).



Figura 20 - Locomotivas paradas devido a bloco rochoso que desabou sobre a ferrovia

Fonte: Ferroeste (2019).



# ANEXO B – BOLETIM DE RESTRIÇÕES DA MALHA DA FERROESTE

21/02/2019

Bulletin

<b>rumo</b>	<b>BOLETIM DE RESTRIÇÕES - A</b>	Página: 1
-------------	----------------------------------	-----------

## ROTA - GUARAPUAVA - CASCAVEL

Sub-divisão - 99	Número - 426	Data - 15/02/2019 22:32:57
------------------	--------------	----------------------------

RESTRIÇÕES SUJEITAS A ALTERAÇÕES. ATUALIZADO ATÉ: 21/02/2019-18:39:20

### VELOCIDADES MÁXIMAS PERMITIDAS

Sub.	Trecho		Linha	Bitola Métrica			Bitola Larga		
	De Km	Ao Km		Com	Tq Vz	Tq Cg	Com	Tq Vz	Tq Cg
99	0,0	105,0	LP	50	0	0	0	0	0
99	105,0	149,3	LP	50	0	0	0	0	0
99	149,3	249,6	LP	50	0	0	0	0	0

### VELOCIDADES MÁXIMAS PERMITIDAS NOS AMV'S DAS ESTAÇÕES

Seq.	Est.	Sub.	EP	SP	ED	SD	Seq.	Est.	Sub.	EP	SP	ED	SD	Seq.	Est.	Sub.	EP	SP	ED	SD
1	SGP	99	30	50	20	20	5	SGO	99	30	50	20	20	9	SGU	99	30	50	20	20
2	SCR	99	30	50	20	20	6	SCG	99	30	50	20	20	10	SIB	99	30	50	20	20
3	SLJ	99	30	50	20	20	7	SLS	99	30	50	20	20	11	SCB	99	30	50	20	20
4	SAR	99	30	50	20	20	8	SHE	99	30	50	20	20	12	SCA	99	30	50	20	20

### RESTRIÇÕES DE VELOCIDADES

Linha	Nulo	Trecho	Sub	Loc	De Km	Ao Km	Veloc	Motivo Restrição
1.		SAR/SGO	99	LP	77,9	78,0	15	Trilho Desgastado
2.		SAR/SGO	99	LP	80,9	81,0	VR	Queda De Barreira
3.		SAR/SGO	99	LP	82,6	82,8	VR	Queda De Barreira
4.		SGO/SCG	99	LP	94,0	98,0	VR	Queda De Barreira
5.		SGO/SCG	99	LP	100,8	101,1	VR	Queda De Barreira
6.		SGO/SCG	99	LP	102,8	103,1	VR	Queda De Barreira
7.		SCG/SLS	99	LP	106,7	106,9	VR	Via Desnívelada-Via
8.		SCG/SLS	99	LP	116,3	116,6	30	Via Desnívelada-Via
9.		SCG/SLS	99	LP	117,4	117,6	VR	Queda De Barreira
10.		SCG/SLS	99	LP	119,8	120,4	VR	Queda De Barreira
11.		SCG/SLS	99	LP	121,5	121,8	VR	Queda De Barreira
12.		SCG/SLS	99	LP	122,8	123,3	VR	Queda De Barreira
13.		SCG/SLS	99	LP	124,6	125,3	VR	Restricao Permanente
14.		SCG/SLS	99	LD	124,6	125,3	VR	Restricao Permanente
15.		SLS/SHE	99	LP	125,3	126,1	VR	Restricao Permanente
16.		SLS/SHE	99	LD	125,3	126,1	VR	Restricao Permanente
17.		SLS/SHE	99	LP	127,0	128,0	VR	Queda De Barreira
18.		SLS/SHE	99	LP	128,7	129,4	VR	Queda De Barreira
19.		SLS/SHE	99	LP	130,5	130,7	30	Via Desnívelada-Lastro Contaminado
20.		SLS/SHE	99	LP	130,5	131,6	VR	Queda De Barreira
21.		SLS/SHE	99	LP	133,2	133,6	VR	Queda De Barreira
22.		SHE/SGU	99	LP	155,2	155,8	VR	Queda De Barreira
23.		SHE/SGU	99	LP	157,1	157,3	25	Via Desnívelada-Via
24.		SHE/SGU	99	LP	168,5	169,3	VR	Via Desnívelada-Via
25.		SHE/SGU	99	LP	168,6	169,2	15	Via Desnívelada-Via
26.		SHE/SGU	99	LP	169,6	169,8	20	Via Desnívelada-Via
27.		SHE/SGU	99	LP	172,7	172,9	VR	Queda De Barreira
28.		SGU/SIB	99	LP	178,2	178,6	20	Via Desnívelada-Via
29.		SGU/SIB	99	LP	178,3	178,5	VR	Queda De Barreira

ftp://sivati-logistica.net/

30.	SGU/SIB	99	LP	188,7	189,6	20	Via Danificada
-----	---------	----	----	-------	-------	----	----------------



## BOLETIM DE RESTRIÇÕES - A

Página: 2

## RESTRIÇÕES DE VELOCIDADES

Linha	Nulo	Trecho	Sub	Loc	Do Km	Ao Km	Veloc	Motivo Restrição
31.		SGU/SIB	99	LP	189,4	189,8	VR	Queda De Barreira
32.		SGU/SIB	99	LP	189,5	189,8	20	Via Desnivelada-Lastro Contaminado
33.		SIB/SCB	99	LP	206,8	207,0	VR	Queda De Barreira

## VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA EM LINHAS SECUNDÁRIAS NAS ESTAÇÕES

Seq.	Est.	Sub.	Vel.	Obs.

## LEGENDA

LP	Linha Principal	LD	Linha Desviada
L1P	Linha 1	L2P	Linha 2
Comum	Vagão comum + TPC/TPD	Tq Cg	Vagão tanque carregado
Tq Vz	Vagão tanque vazio	EP	Entrada no pátio pela linha principal
SP	Saída do pátio pela linha principal	ED	Entrada no pátio pela linha desviada
SD	Saída do pátio pela linha desviada		

## OBSERVAÇÕES

COM CHUVAS FORTES - VEL. MAX. DE 30 KM H DO KM 70+000 AO 180+000
ATENCAO EFETUAR VEL RESTRITA ENTRADA E SAIDA EM TODOS OS PATIOS DE LGP A SCA
-SAR- L3 LINHA INTERDITADA DORMENTACAO ALUIDA, SUP.MAX
-PROIBIDO CIRCULAR NA LINHA 3 DO SCR DEVIDO A SUBSTITUICAO DE TRILHOS
-PROIBIDO CIRCULAR NA LINHA 3 DO SAR DEVIDO A SUBSTITUICAO DE TRILHOS
VMA EM LP - VELOCIDADE DE ENTRADA E EP, AO PASSAR A LOCOMOTIVA PELO AMV, A VMA PASSA A SER A SP
VMA EM LD - VELOCID DE ENTRADA E ED, AO PASSAR TREM INTERIRO PELO AMV, A VMA PASSA A SER A SD
L03 DE SLS INTERDITADA, PROIBIDO A ENTRADA POR AMBOS OS LADOS - AMVS TRAVADOS POR MOTIVO DE ...
...SABOTAGEM
- SLS LP E LD - CUMPRIR VR EM TODA EXTENSAO DO PATIO SUJEITO A SABOTAGEM
L03 DE SGU - OPERACAO PERMITIDA SOMENTE PELO LADO L LESTE COM CUIDADO EM EXTENSAO DE 140M...
... DE LINHA LINHA COM VGS INOPERANTES ESTACIONADOS A 160M DO MARCO.
-SCB L03 - OPERACAO PERMITIDAS SOMENTE PELO LADO L LESTE , PERMITIDO CIRCULACAO EM TODA ...
... EXTENSAO DA L03. AMV W OESTE TRAVADO.



# REQUALIFICAÇÃO URBANÍSTICA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PRESIDENTE GETÚLIO/SC

*Data de submissão: 27/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Martins, B. G.**

Departamento de Engenharia Civil  
da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Ibirama, Brasil.

### **Santos, R.P.**

Departamento de Engenharia Civil  
da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Ibirama, Brasil.

**RESUMO:** O planejamento urbano frequentemente negligencia o aspecto humano, priorizando a infraestrutura para veículos em detrimento dos pedestres. Essa abordagem, historicamente consolidada, tem contribuído para o comprometimento de elementos essenciais à qualidade de vida urbana, como a segurança, o convívio comunitário e a vitalidade das cidades. A predominância de sistemas viários projetados para automóveis marginaliza pedestres e ciclistas, reforçando desigualdades e criando ambientes hostis à interação humana. Este estudo aborda a requalificação urbanística no município de Presidente Getúlio, SC, como um exemplo concreto de ressignificação do espaço urbano, considerando aspectos de mobilidade sustentável, inclusão social

e planejamento participativo. Diante de desafios como a infraestrutura precária e os danos causados pela enxurrada de 2020, que afetaram profundamente a cidade, a pesquisa propôs intervenções orientadas por uma metodologia inovadora. O trabalho foi estruturado em fases bem definidas, com destaque para o uso de uma metodologia de projeto baseada na geração de inovações disruptivas e em um sistema de decisão quantitativo que permitiu hierarquizar soluções. A análise partiu da identificação de problemas como calçadas inadequadas, ausência de ciclovias, sinalização insuficiente e pavimentos em más condições. A partir disso, foram propostas reconfigurações do sistema viário, considerando novas dimensões e disposições que priorizam pedestres, ciclistas e áreas verdes. O conceito mais adequado foi desenvolvido com base em critérios técnicos e sustentáveis, utilizando ferramentas de modelagem BIM (Building Information Modeling). Essa tecnologia possibilitou não apenas a visualização detalhada do projeto, mas também uma avaliação qualitativa do impacto das intervenções no tráfego local. As simulações indicaram que a reorganização espacial das vias, apesar de promover mudanças

significativas no uso do espaço público, manteve a funcionalidade viária e garantiu a fluidez do trânsito. Este trabalho oferece contribuições relevantes ao campo da engenharia urbana, propondo soluções que conciliam baixo impacto ambiental e alto potencial replicável. As intervenções estão alinhadas às diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, priorizando o transporte não motorizado, a inclusão e a sustentabilidade. A experiência de Presidente Getúlio ressalta o papel transformador de intervenções urbanísticas bem planejadas, que resgatam a função social do espaço público e promovem cidades mais seguras, acessíveis e voltadas para as pessoas. Assim, o estudo reafirma a importância de um planejamento urbano que priorize o fator humano, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento e qualidade de vida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Projeto urbanístico; Requalificação arquitetônica; Intervenções urbanísticas.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o planejamento urbano tem negligenciado o aspecto humano, marginalizando as funções essenciais desempenhadas por vias e calçadas nas cidades. Como destacado na literatura, especialmente por Jacobs (2014), ruas e calçadas não são apenas vias de passagem; elas constituem os principais espaços públicos das cidades, funcionando como órgãos vitais no grande organismo vivo que elas representam.

Jacobs (2014) enfatiza que o espaço público transcende funções básicas como mobilidade e lazer. Ele desempenha um papel crucial, ainda que muitas vezes sutil, na segurança, no convívio comunitário e na vitalidade urbana. Contudo, a urbanização, frequentemente desordenada e descontrolada, gerou distorções que afastaram os pedestres do espaço urbano, transformando ruas e calçadas em domínios exclusivos dos automóveis. Essa realidade se manifesta tanto em grandes metrópoles quanto em cidades médias e pequenas no Brasil. Muitos desses cenários urbanos ou resultam de uma urbanização sem planejamento ou de planejamentos que priorizam interesses de minorias, desconsiderando as necessidades da população em geral (GEHL, 2013).

De acordo com a Comissão Europeia de Mobilidade e Transporte (2023), 50% do espaço das cidades é ocupado por sistemas viários, mas esse espaço é plenamente utilizado apenas 5% do tempo. No Brasil, essa discrepância é ainda mais evidente, considerando os dados da Associação Nacional de Transporte Público (ANTP, 2017), que apontam que o deslocamento a pé é o meio de transporte mais utilizado no país.

Incorporar o fator humano e considerar as características locais no planejamento urbano é essencial para revitalizar os municípios e promover qualidade de vida. Espaços projetados com foco nas pessoas tornam-se seguros, acessíveis e convidativos para pedestres e ciclistas, criando um ambiente urbano mais equilibrado e funcional (GEHL, 2013).

Um exemplo inspirador é a transformação da rua Strøget, em Copenhague, que, em 1962, foi convertida em um grande calçadão. Hoje, Strøget é reconhecida como a maior rua comercial exclusiva para pedestres do mundo. O sucesso dessa iniciativa, seguido por outras vias para pedestres na cidade, não se deve apenas à criação de espaços destinados à circulação de pessoas, mas à concepção de uma cidade pensada para seus habitantes. A transformação incluiu a substituição de áreas dominadas por automóveis por praças públicas, a implementação de soluções que facilitaram a mobilidade e a reestruturação do zoneamento urbano, reduzindo a necessidade de deslocamentos longos (MENDONÇA, 2021).

No Brasil, iniciativas como a de Copenhague ainda são pouco comuns, e muitas cidades sofrem com os impactos da urbanização desordenada. Um exemplo disso é o município de Presidente Getúlio, localizado no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil. Atualmente, algumas ruas do centro da cidade encontram-se em estado depreciado, com baixa acessibilidade e uso inadequado do espaço urbano. Parte desses problemas foi agravada pela enxurrada de 2020, um desastre que praticamente devastou a cidade, deixando marcas profundas na infraestrutura e no desenvolvimento urbano local. A Figura 1 exemplifica o estado dessas vias.



Figura 1 - Imagem da rua Hebert Zink, em Presidente Getúlio/SC. Calçadas inadequadas, pavimento irregular, ausência de espaço destinado para ciclistas e sinalização inexistente caracterizam a via.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023).

Nesse contexto, Presidente Getúlio possui um grande potencial para reestruturar sua hierarquia viária, adotando novas configurações que promovam a qualidade de vida da população. Essas mudanças podem incluir a ampliação da acessibilidade para pedestres e ciclistas, contribuindo para a criação de um ambiente urbano mais inclusivo e sustentável.

Com uma abordagem sistemática e uma metodologia de projeto voltada ao desenvolvimento de concepções inovadoras, o presente trabalho propõe um conjunto de soluções que possibilitam a seleção da alternativa mais adequada para as vias escolhidas. Os impactos da implementação dessa intervenção foram analisados qualitativamente por meio de software de modelagem BIM.

## **2 | PLANEJAMENTO URBANO: A IMPORTANCIA DO ESPAÇO URBANO**





Nas últimas décadas, diversos estudiosos passaram a classificar os espaços públicos urbanos como locais fundamentais para a manifestação da vida pública e a prática da cidadania, atribuindo-lhes, assim, uma conquista sociopolítica associada à sua utilização (Abrahão, 2008).

Além de seu papel na promoção da cidadania, os espaços públicos desempenham uma função crucial na promoção da saúde e do bem-estar dos cidadãos. Como destaca Gehl (2013), a cidade se transforma em um organismo vibrante quando mais pessoas se sentem convidadas a caminhar, pedalar ou simplesmente permanecer nesses espaços.

Nesse contexto, Arantes (1998) amplia a visão sobre as ruas, definindo-as como algo muito além de meros caminhos ou formas de passagem. Para ele, as ruas representam um universo de múltiplos eventos e relações, onde se entrelaçam tanto os bons quanto os maus lugares, refletindo as complexas dinâmicas sociais e urbanas.

Portanto, é essencial que ruas e espaços públicos sejam projetados para incentivar a atividade física, promover o contato com a natureza e facilitar a interação social. Isso contribui diretamente para a redução do sedentarismo, da obesidade e de outras doenças relacionadas a estilos de vida pouco saudáveis.

No século XIX, na Europa, os espaços urbanos passaram por intervenções nos espaços públicos com o objetivo de reverter, ou ao menos minimizar, os impactos negativos causados pela industrialização nas cidades. Essas mudanças ajudaram a promover novos hábitos sociais, os quais, posteriormente, tiveram repercussões internacionais. Como mostra o Quadro 1, existem cidades que demonstram como a utilização do espaço urbano voltado para as pessoas pode promover significativamente a segurança e o bem-estar da população.

<p>São Francisco, Califórnia/EUA: Após o terremoto de 1989, a Rua Embarcadero foi transformada de via expressa em um bulevar arborizado com bondes e infraestrutura para pedestres e ciclistas, melhorando a qualidade de vida urbana.</p>	
<p>Nova Iorque, Nova Iorque/EUA: Em 2008 em Nova Iorque foi criado a plaNYC. Um plano de intervenções urbanísticas com o intuito de criar uma cidade melhor e mais verde, melhorando espaços públicos como calçadas, ciclovias e instalação de estacionamentos para bicicletas.</p>	
<p>Curitiba, Paraná/Brasil: Em 1972, se iniciou as obras de fechamento da Rua XV de Novembro, onde os automóveis cederiam espaço aos pedestres. As obras duraram cinco dias, tempo esse no qual os comerciantes elaboraram um abaixo assinado pedindo a reabertura da rua. A Rua XV virou o primeiro calçadão do Brasil, tendo aceitação dos pedestres, dois ou três dias depois das obras prontas, os comerciantes esqueceram do abaixo-assinado, pois a clientela aumentou e uma sensação de bem-estar tomou conta.</p>	
<p>Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil: Iniciado em 2009, o projeto teve como objetivo transformar a Zona Portuária da cidade, antes degradada, em um espaço moderno, sustentável e acessível. Entre as principais intervenções estão a demolição do Elevado da Perimetral, a criação do Boulevard Olímpico, a revitalização de edifícios históricos e a implementação de áreas de convivência, como a Praça Mauá, que abriga o Museu do Amanhã e o Museu de Arte do Rio (MAR).</p>	

Quadro 1 - Alguns exemplos bem sucedidos de requalificações urbanísticas de áreas degradadas.

Fonte: adaptado de (Gehl, 2013), Leitões (2016).

### 3 | MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

A promoção da mobilidade sustentável pode ser vista como uma estratégia para reduzir o uso de veículos particulares. Essa abordagem está diretamente ligada a medidas que integram o uso eficiente do solo com soluções de transporte, visando facilitar o acesso da população às suas atividades por meio do incentivo ao uso de bicicletas e caminhadas. Em áreas urbanas, essas práticas contribuem para a redução do consumo de energia e diminuição da emissão de poluentes (Silva, Souza e Mendes, 2005).

Para alcançar esse objetivo, é indispensável a implementação de estratégias integradas, fundamentadas em elementos de planejamento urbano. Nesse contexto, torna-se essencial adotar procedimentos que avaliem e validem a eficiência das intervenções realizadas, utilizando a situação atual como ponto de referência. Assim, avaliar o nível de mobilidade sustentável em uma região e compará-lo a outras localidades, ou mesmo com os resultados obtidos após as intervenções propostas, torna-se uma prática indispensável (Silva, Souza e Mendes, 2005).

No Brasil, o debate sobre a necessidade de estabelecer parâmetros de sustentabilidade no planejamento dos sistemas de mobilidade urbana tem ganhado força. A mobilidade urbana sustentável insere-se no contexto mais amplo do desenvolvimento sustentável, que busca equilibrar a satisfação das necessidades humanas com a preservação do meio ambiente. Assim como o desenvolvimento sustentável é abordado sob as dimensões econômica, social e ambiental, o mesmo princípio pode ser aplicado à mobilidade. Nesse sentido, os sistemas de mobilidade urbana sustentável devem ser fundamentados em três pilares: a proteção ambiental, a viabilidade econômica e a justiça social, garantindo que esses aspectos desempenhem papéis centrais no processo de planejamento.

A mobilidade urbana sustentável é um dos principais desafios enfrentados pelas cidades brasileiras. O crescimento acelerado da urbanização, aliado ao desenvolvimento social e econômico, tem impulsionado o aumento da motorização individual e da frota de veículos de carga. Esse modelo de mobilidade, centrado no transporte motorizado individual, revela-se insustentável, comprometendo tanto a proteção ambiental quanto a qualidade de vida da população (Brasil, 2023).

A resposta mais comum para enfrentar os congestionamentos tem sido a ampliação da capacidade viária. Contudo, como destaca Gehl (2013, p. 91): “À medida que mais carros tomaram as ruas, cada vez mais planejadores de tráfego concentraram-se em criar espaço para eles e para estacionamentos”, o que estimula o uso de automóveis e perpetua o ciclo vicioso de congestionamentos (Brasil, 2023).

Diante da necessidade de romper com esse padrão tradicional de mobilidade e de promover cidades mais humanas e sustentáveis, foi criada a Lei Federal nº 12.587 de 2012, que institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana. Essa lei estabelece princípios,

diretrizes e instrumentos essenciais para o processo de transição para um modelo de mobilidade sustentável (Brasil, 2023). Entre os aspectos mais relevantes, destacam-se:

- Integração da Política Nacional de Mobilidade Urbana com políticas de desenvolvimento urbano, habitação, saneamento básico e gestão do uso do solo nos entes federativos.
- Prioridade para modos de transporte não motorizados e transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.
- Integração entre diferentes modos e serviços de transporte urbano.
- Mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos urbanos.
- Incentivo ao uso de energias renováveis e tecnologias menos poluentes.
- Prioridade para projetos de transporte público estruturantes e promotores de desenvolvimento urbano integrado.
- Restrição e controle de acesso de veículos motorizados em horários e locais específicos.
- Tributação sobre modos de transporte urbano, com destinação da receita para transporte público e não motorizado, bem como para subsídios tarifários.
- Dedicção de espaços exclusivos nas vias para transporte público e modos não motorizados.
- Monitoramento e controle das emissões de gases poluentes, com possibilidade de restrição de veículos em áreas críticas.

Essas diretrizes buscam, de forma geral, priorizar a mobilidade não motorizada e o transporte coletivo. Na Figura 2, é possível observar um exemplo de como pedestres e ciclistas podem ser privilegiados no espaço urbano.

Além da demanda de transportes, um fator a se considerar é o espaço disponível. Em casos de requalificação urbanísticas, a via já possui um espaço delimitado, onde é necessário a análise das seções transversais para delimitar a melhor forma de aproveitamento. Nesse caso é necessário criatividade e a consulta a documentos técnicos para gerar uma solução adequada e funcional.

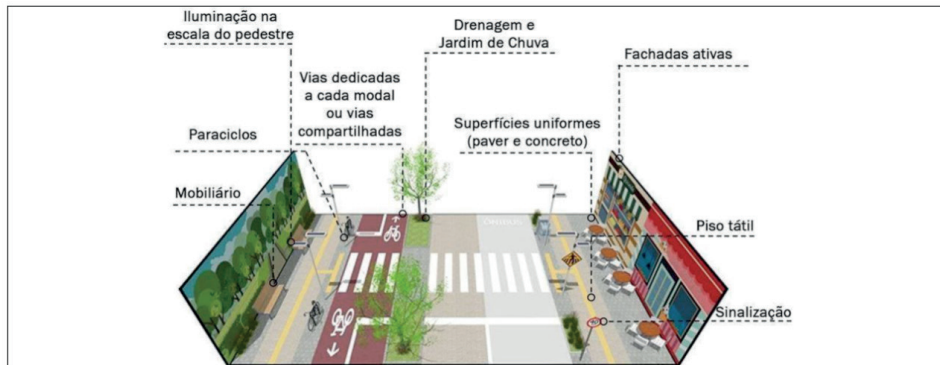


Figura 2 - Seção transversal de via projetada com base nos conceitos de mobilidade sustentável.

Fonte: adaptado Maropo et al., (2020)

## 4 I MÉTODO ADOTADO

Os objetivos estabelecidos induziram a adoção de uma metodologia de natureza aplicada com objetivos exploratórios. Os procedimentos adotados classificam a pesquisa como um estudo de caso, conforme definido por Prodanov e Freitas (2013). Os etapas de desenvolvimento são esquematicamente mostradas na figura abaixo.

- |  |
|--|
| 1. Caracterização do sistema viário local                                  |
| 2. Desenvolvimento da conceito mais adequado                               |
| 3. Modelagem   |
| 4. Avaliação qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local |

Figura 3 - Etapas adotadas

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023).

### 4.1 Caracterização do sistema viário local

Presidente Getúlio é um município localizado no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil. Integra a Região Geográfica Intermediária de Blumenau e a Região Geográfica Imediata de Ibirama - Presidente Getúlio. Está a aproximadamente 222 km da capital estadual, Florianópolis. De acordo com estimativas do IBGE, sua população em 2022 era de 20.010 habitantes.

Atualmente, diversas ruas no centro da cidade, como as ruas Hebert Zink, Cruzeiro, Otto Augusto Meuhlasen, Padre José Moacir e a Travessa Luiz Rigo (conforme ilustração na Figura 4), apresentam um estado de conservação precário. Conforme evidenciado na Figura 5, os problemas são variados, incluindo a ausência de calçadas, falhas no pavimento, falta de espaços adequados para ciclistas e cadeirantes, além de sinalização insuficiente



ou inadequada. Parte dessas condições é atribuída aos danos causados pela enxurrada de 2020, que impactou severamente a infraestrutura da cidade.

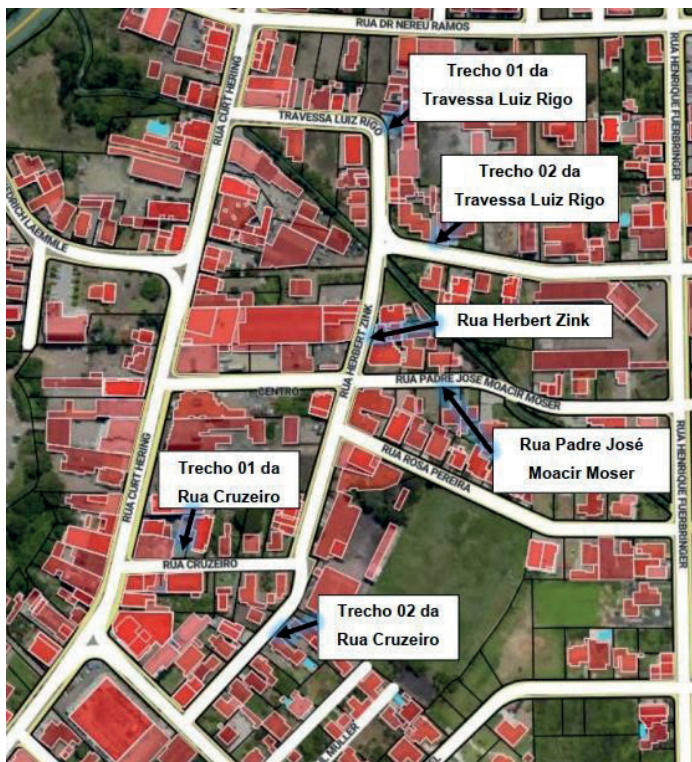
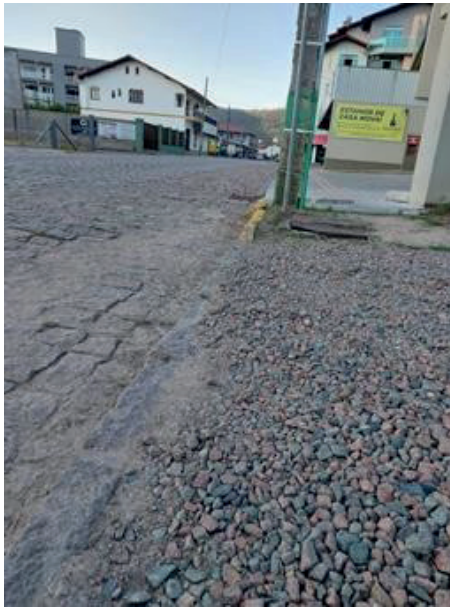


Figura 4 - Ruas Cruzeiro, Padre José Moacir Moser, Hebert Zink e travessa Luiz Rigo que formam o sistema viário do centro da cidade de Presidente Getúlio/SC.

Fonte: elaborado pelo autor, (2023).



Ausência de calçadas



Não conformidades no pavimento

Figura 5 – Exemplos de inadequações do sistema viário no centro da cidade de Presidente Getúlio/SC.

Fonte: elaborado pelo autor, (2023).

## 4.2 Metodologia adotada para o desenvolvimento do conceito

Para priorizar a formação de um conjunto de soluções hierarquizáveis de forma metódica, adotou-se uma metodologia de desenvolvimento de conceito com alto grau de sistematização. Segundo Dos Santos (2024), essa abordagem favorece inovações disruptivas, agrega valor e reduz o tempo de desenvolvimento. O método, composto por cinco etapas, resulta na definição do conceito mais adequado, conforme ilustrado na Figura 6.

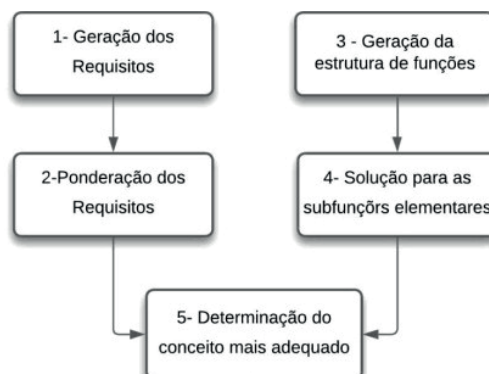


Figura 6 - Relação entre as etapas do método de desenvolvimento do conceito

Fonte: elaborado pelo autor, (2023).

A primeira etapa consiste em definir os requisitos do projeto, tarefa que, segundo Back (2013), pode ser realizada por meio de métodos variados, como reuniões com consultores e especialistas experientes em projetos similares. Em seguida, elabora-se a função global do projeto, uma descrição abstrata do objetivo principal, e sua divisão em subfunções, que representam problemas simplificados a serem resolvidos.

Na etapa seguinte, são geradas soluções alternativas para cada subfunção, incentivando a criatividade da equipe para explorar diversas fontes, como livros, projetos anteriores e manuais, visando obter propostas inovadoras. A combinação dessas soluções resulta em concepções de projeto que atendem às subfunções e ao objetivo global.

Por fim, as concepções são avaliadas em duas etapas: primeiro, verifica-se a viabilidade de cada solução, e, depois, aplica-se o método de Combinação Linear Ponderada (CLP) para ordenar as opções. A solução mais adequada será aquela com o maior valor do coeficiente de ordenamento, que considera os pesos dos requisitos e o grau de satisfação das concepções.

### **4.3 Modelagem e Avaliação qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local**

A penúltima etapa consiste na criação de um modelo digital da concepção considerada mais adequada na etapa anterior, utilizando o software InfraWorks. Desenvolvido pela Autodesk, o InfraWorks é amplamente empregado em projetos de infraestrutura por adotar a metodologia BIM na modelagem de projetos básicos.

Além disso, o software permite, por meio do módulo de simulação de tráfego, avaliar o impacto da solução proposta na circulação viária da região. Essa avaliação será conduzida como uma análise de sensibilidade, técnica que visa identificar como alterações em parâmetros específicos influenciam os resultados do modelo. No caso, será avaliada a situação viária considerando dois cenários: o atual e o urbanisticamente requalificado, permitindo verificar a robustez da solução e entender a variação no tráfego em resposta a mudanças nas condições urbanas.

## **5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Conceito mais adequado**

O desenvolvimento do conceito iniciou-se com a definição de requisitos. Para tal foram entrevistados dois especialistas. Com base em suas expertises, foram elencados e classificados os principais requisitos, conforme mostrado no Quadro 2.

Os requisitos foram classificados como “obrigatórios” ou “desejáveis”: os obrigatórios devem ser plenamente atendidos pelas soluções, enquanto os desejáveis podem ser parcialmente satisfeitos. Além disso, foi realizada a ponderação da importância de cada

requisito para aplicar o método de combinação linear ponderada no julgamento das concepções. Os requisitos considerados comparativamente mais significativos receberam pontuação +5, enquanto os requisitos considerados de igual e menor importância receberam pontuação +3 e +1, respectivamente. O somatório de tais pontuações permitiram a hierarquização dos requisitos.

Requisitos listados	Classificação	
Lixeiras em número e quantidade adequadas	Obrigatório	27
Sinalização vertical, horizontal e semaforica adequada	Obrigatório	35
Iluminação em LED	Desejável	31
Separação física entre pedestre/automóvel/bicicleta	Obrigatório	35
Paisagismo	Obrigatório	14
Acesso gratuito de internet banda larga	Desejável	10
Travessias segura de pedestres	Obrigatório	31
Rampas acessíveis	Obrigatório	31
Pavimento semipermeável	Obrigatório	37
Ciclofaixa	Obrigatório	29
Drenagem adequada	Obrigatório	36
Rede de transmissão elétrica subterrânea	Obrigatório	11
Calçada acessíveis	Obrigatório	28
Vagas de estacionamento sinalizadas (reserva para PNE, idosos e carga/descarga)	Obrigatório	26
Baixo custo	Desejável	4
Local para realização de eventos públicos	Desejável	6

Quadro 2 - Requisitos de projeto classificados em obrigatórios e desejáveis

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Outra etapa importante é a definição da função global e estrutura de subfunções do projeto (mostrada na imagem abaixo). Ela consiste em uma representação gráfica do processo de execução das atividades.

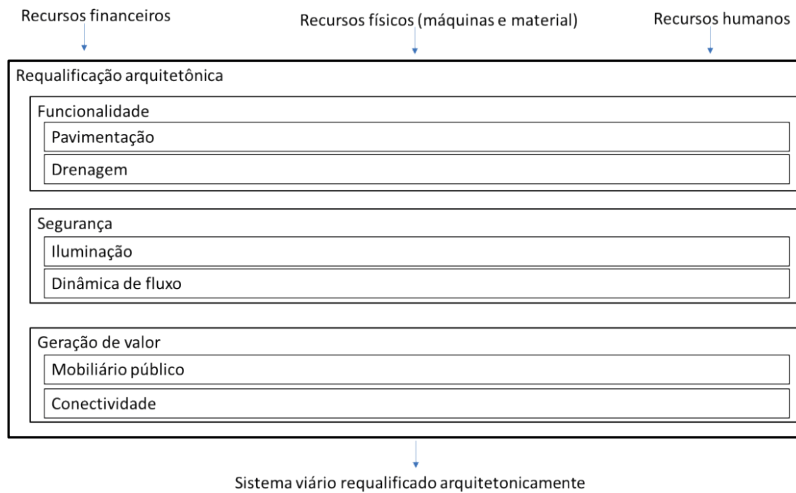






Figura 7 - Função global de projeto mostrando as relações de recursos e suas interações

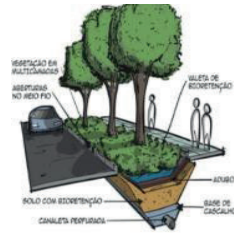
Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Fica claro pela observação da imagem que foram identificados três grandes subfunções (funcionalidade, segurança e geração de valor). A definição dessas grandes subfunções estão intimamente relacionadas com o aspecto sustentável do projeto. Outro aspecto que também não pode deixar de ser notado é que cada uma das grandes subfunções foi desdobrada em subfunções elementares. O conjunto dessa subfunções elementares é que compõem o nível mais básico de entendimento do projeto.

O passo seguinte foi encontrar soluções para cada uma das funções elementares. Essas soluções foram coletadas durante todo o trabalho por pesquisa em material publicado, análise de sistemas naturais, *benchmarking* e *brainstorming*. O Quadro 3 elenca as soluções para cada subfunção elementar.

Requalificação arquitetônica	
1	Funcionalidade
1.1	Pavimentação
	<p>Concreto permeável</p> 
	<p>Bloco de concreto intertravado (retangular)</p> 
	<p>Bloco de concreto intertravado (quadrado)</p> 
1.2	Drenagem
	<p>Boca de logo na guia</p> 
	<p>Boca de lobo com grade</p> 

Jardim de chuva



2. Segurança

2.1 Iluminação

Iluminação em Led (transmissão elétrica subterrânea)



Iluminação em Led (geração com energia solar)

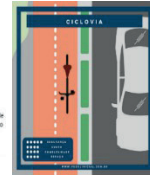
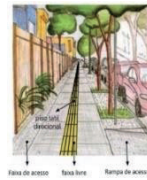


2.2 Dinâmica de fluxo

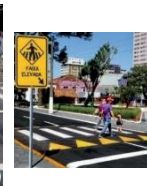
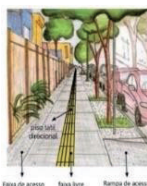
Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia em mesmo nível; separação com baliza.

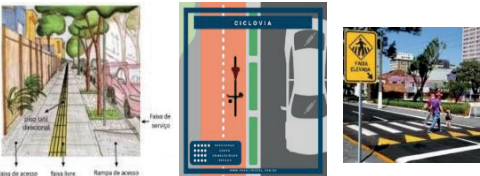

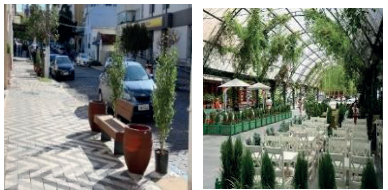



Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia em mesmo nível; separação com canteiro.



Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia elevada; separação com baliza.



	<p>Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia elevada; separação com canteiro.</p>	
3	Geração de valor	
3.1	Mobiliário público	
	Bancos, jardins e cobertura parcial	
	Bancos, jardins e cobertura total (conceito rua coberta)	
3.2	Conectividade	
	Poste de internet pública	

Quadro 3 - Soluções elencadas para cada subfunção

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Por fim, com todas as soluções listadas, iniciou-se o processo de definição da concepção mais adequada. Esse processo começou com uma análise de viabilidade do tipo “passa ou não passa”, que avaliou cada solução com base nos requisitos obrigatórios. Nessa etapa, todas as alternativas foram consideradas viáveis.

Em seguida, aplicou-se o método da “Combinação Linear Ponderada” (CLP), utilizado para ordenar as soluções por meio de um coeficiente, representado pela letra “I”. Esse coeficiente é calculado como o somatório do produto entre o peso relativo de cada requisito ( $P_i$ ) e o grau de satisfação da solução em relação a esse requisito ( $S_i$ ). O conjunto das soluções consideradas mais adequadas é mostrado no Quadro 4.



#	Requalificação arquitetônica
1	Funcionalidade
1.1	Pavimentação: Bloco de concreto intertravado (retangular)
1.2	Drenagem: Boca de lobo na guia e Boca de lobo com grade
2.	Segurança
2.1	Iluminação: LED com geração por energia solar
2.2	Dinâmica de fluxo: Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia elevada; separação com canteiro.
3	Geração de valor
3.1	Mobiliário público: Bancos, jardins e cobertura parcial
3.2	Conectividade: Poste de internet pública

Quadro 4 - Soluções escolhidas  
 Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

## 5.2 Modelagem

Uma etapa fundamental foi a modelagem tridimensional do conceito. Ele foi feito com base em um levantamento aerofotogramétrico e dados geométricos obtidos junto a prefeitura municipal. A importação do modelo digital de superfície e da ortofoto para o software InfraWorks foi o primeiro passo para a construção do modelo digital. A dimensões e configuração das seções transversais de cada via são mostrados no quadro 5. Nela fica clara a abordagem baseado no conceito de mobilidade sustentável que permeou o conceito.

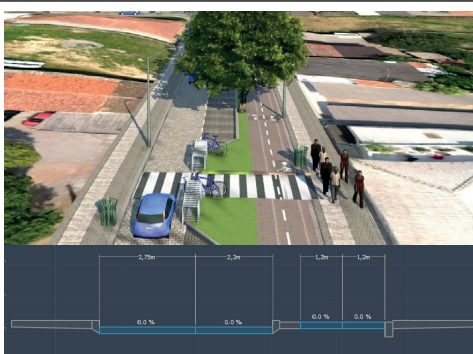
### Seção requalificada da Travessa Luiz Rigo trecho 01

Levando em conta que a via é de mão única e possui uma seção bastante espaçosa, foi proposto a diminuição da faixa de rolamento e a retirada de uma faixa de estacionamento, para gerar mais conforto a ciclistas e pedestres. Como forma de separação de fluxos foi proposta uma faixa verde entre a ciclovia e acostamento, onde pode-se arborizar a fim gerar conforto térmico a população. Também há a possibilidade de se aproveitar canteiros de travessia para implantar estacionamento de bicicletas ou até colocação de bancos públicos com cobertura para a população com acesso à internet.



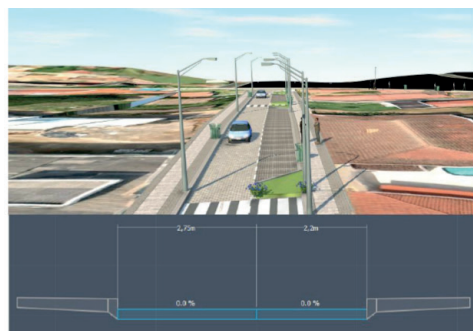
### Seção requalificada da Travessa Luiz Rigo trecho 02

O trecho 02 da Travessa Luiz Rigo possui 1 m a menos que o trecho 01, pensando nisso foi mantido a mesma seção da faixa de rolamento e ciclovia do trecho 01 com a diferença de que o passeio esquerdo ficou com 2,25 m e o passeio direito com 2 m.



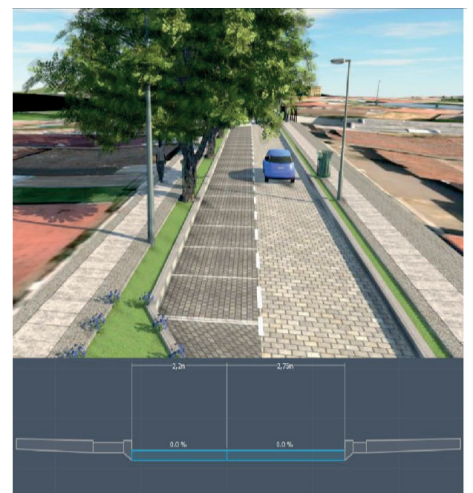
### Seção requalificada da rua Cruzeiro Trecho 01

A Rua Cruzeiro possui atualmente uma via de 7 metros de largura de sentido único que inclui uma faixa de estacionamento e passeios de 1m de cada lado. A fim de gerar maior conforto e mobilidade aos pedestres foi proposto aumentar as calçadas para 1,85 m cada lado, ficando uma faixa de rolamento de 2,75 m, um estacionamento de 2,2 m e canteiros para travessia de pedestres.



### Seção requalificada da rua Cruzeiro Trecho 02

Já o trecho 02 da Rua Cruzeiro possui meio metro a mais para cada passeio, o que permitiu criar passeios de 2,2 m do lado esquerdo e 1,8 m do lado direito mais a inclusão de uma faixa verde para separação de fluxos, onde pode arborizar.



### Seção requalificada da rua Hebert Zink

Considerando o espaço disponível, foi proposto a diminuição da faixa de rolamento para incluir um espaço para o tráfego de ciclistas. Como forma de separação de fluxos foi proposta uma faixa verde entre a ciclovia e acostamento, onde pode-se arborizar a fim gerar conforto térmico a população, e aproveitar canteiros de travessia para implantar estacionamento de bicicletas ou até colocação de bancos públicos para a população com acesso a internet.



### Seção requalificada da rua Padre José Moacir Moser

Para poder tornar a via mais confortável e convidativa a pedestres foi proposto a diminuição da faixa de rolamento para aumentar os passeios e adicionar uma faixa arborizada. Também foi sugerido a implantação de canteiros para travessias de pedestres na qual podem abrigar bancos públicos.



### Seção requalificada da Travessa Luiz Rigo

Considerando o espaço disponível, foi proposto a diminuição da faixa de rolamento para incluir um espaço para o tráfego de ciclistas. Como forma de separação de fluxos foi proposta uma faixa verde entre a ciclovia e acostamento, onde pode-se arborizar a fim gerar conforto térmico a população, e aproveitar canteiros de travessia para implantar estacionamento de bicicletas ou até colocação de bancos públicos para a população.



Quadro 5 - Seção requalificada dos trechos que compõem o sistema viário

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

## 5.3 Avaliação qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local

A análise de sensibilidade dos impactos das intervenções sobre tráfego local foi viabilizada por meio do modelo digital elaborado no software InfraWorks. Reconhecido por sua aplicação em projetos conceituais de infraestrutura, o software oferece ferramentas

robustas de simulação de tráfego, que permitem antecipar problemas potenciais e orientar a escolha da solução mais adequada para o projeto.

O estudo foi desenvolvido com base em dois cenários distintos: o cenário 1, correspondente à configuração atual das vias, e o cenário 2, que representa o modelo requalificado. Já para caracterizar a demanda de tráfego foram utilizados um cenários, caracterizado pela mesma matriz origem/destino e pontos de controle. O resultado da avaliação do impacto sobre o tráfego local é ilustrado na Figura 8.



Cenário 1: Sistema viário antes das intervenções



Cenário 2: Sistema viário após as intervenções

Figura 8 - Análise qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Analisando visualmente, no qual os blocos vermelhos indicam retenção, pode-se observar que não houve alteração do nos resultados obtidos para os dois cenários, esse resultado pode se justificar pela não alteração do sentido e quantidade de vias para os dois cenários. Na prática houve apenas um reordenamento e qualificação do espaço público.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo sistemático de elaboração de um conceito de requalificação arquitetônica, fundamentado na definição de requisitos específicos, possibilitou a criação de soluções inovadoras e altamente eficientes. Essas soluções, organizadas em um banco de dados, podem ser aplicadas não apenas neste projeto, mas também em outras iniciativas, ampliando seu impacto.

A integração de tecnologias baseadas em BIM (Building Information Modeling) foi fundamental, pois permitiu uma visualização aprimorada e uma análise detalhada do modelo proposto. Essa abordagem facilitou a criação de diferentes cenários, o que foi crucial, especialmente para a avaliação do impacto no tráfego.

Ao comparar as medidas atuais das vias com as recomendações de um planejamento mais moderno, observou-se que a redução das faixas destinadas aos veículos possibilitou a inclusão de ciclovias, ampliação dos passeios e a criação de áreas verdes, promovendo uma melhoria significativa na mobilidade urbana. Essas mudanças não só incentivam a permanência das pessoas em espaços públicos, mas também contribuem para uma melhor qualidade de vida.

Nesse contexto, a simulação de tráfego realizada validou a hipótese de que essas vias podem, sim, acomodar espaços de convivência pública, ciclovias e passeios mais largos. Os resultados mostraram que, mesmo com as intervenções, o fluxo de tráfego se manteve estável, reforçando a viabilidade das propostas para a requalificação urbana.

Este trabalho contribui para o campo da engenharia urbana ao propor soluções replicáveis e de baixo impacto ambiental, alinhadas com as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. A experiência de Presidente Getúlio destaca o potencial transformador de intervenções urbanísticas bem planejadas, criando cidades mais seguras, sustentáveis e voltadas para as pessoas.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Sergio Luiz. **Espaço Público**: do Urbano ao Político. São Paulo: Annablume, 2008.

ANTP. **O “não transporte” pode ser a solução para a mobilidade das médias e grandes cidades**. 2017. Disponível em: <http://antp.org.br/noticias/ponto-de-vista/o-nao-transporte-pode-ser-a-solucao-para-a-mobilidade-das-medias-e-grandes-cidades.html>. Acesso em: 23 maio 2023.

ARANTES, Otilia B. Fiori. **Urbanismo em fim de linha e outros estudos sobre os colapso da modernização arquitetônica**. São Paulo: Edusp, 1998.

BACK, Nelson et al. **Projeto Integrado de Produtos**: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manoele, 2008

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (org.). **Mobilidade Sustentável**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/mobilidade-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 05 jun. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Europa) (org.). **Desperdícios estruturais gerados pelo automóvel**. 2023. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/estatisticas/72/desperdicios-estruturais-gerados-pelo-automovel.html>. Acesso em: 23 maio 2023.

DOS SANTOS, Rafael Pacheco; VISINTAINER, Michael René Mix; DOS SANTOS, Eduardo Muller. Metodologia de projeto adaptada aplicada à projetos urbanísticos: Vantagens e Limitações. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 20, 2024.

GEHL, Jan. **Cidades Para Pessoas**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013 JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. 3. ed. São Paulo: WMF, 2011.

LEITOLES, Maicon Lincon. **PERMANÊNCIAS E TRANSFORMAÇÕES NO ESPAÇO PÚBLICO O CASO DA RUA XV DE NOVEMBRO EM CURITIBA**. 2016. 183 f. Pós Graduação - Curso de Pós Graduação em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade, Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade, Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178299>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MAROPO, Vivianne Lisbethe Bezerra *et al.* Mobilidade nos centros urbanos: estudo para implantar ruas completas no centro de João Pessoa, Paraíba, Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 12, jan. 2020.

MENDONÇA, Ana Luiza Cavalcanti. **Caminhar como mobilidade urbana**: políticas, práticas e dinâmicas urbanas em Maceió, Alagoas. 2021. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/8817>. Acesso em: 23 maio 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013

SILVA, Antônio Néilson Rodrigues da; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; MENDES, José Fernando Gomes. **Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**: desenvolvimentos recentes no Brasil e em Portugal. São Carlos: Eesc/Usf, 2005. 1 v. Disponível em: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4613/1/Ramos\\_CLN\\_1\\_2005.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4613/1/Ramos_CLN_1_2005.pdf). Acesso em: 08 nov. 2023.

# VINCULACIÓN ENTRE EDUCACIÓN SUPERIOR Y EDUCACIÓN MEDIA: CASO CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ITAPÚA Y BACHILLERATO TÉCNICO EN INFORMÁTICA DE ENCARNACIÓN Y CAMBYRETÁ

*Data de submissão: 05/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **María Nieves Florentín Núñez**

Dirección Carrera de Ingeniería Informática – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, Paraguay

### **Lisa Graciela Ojeda Aquino**

Dirección Departamental de Itapúa, Ministerio de Educación y Ciencias, Encarnación, Paraguay

### **Verónica Solano**

Vicepresidenta de Desarrollo Humano, Integratevs, Encarnación, Paraguay

**RESUMEN.** Este artículo presenta los resultados de la vinculación entre educación superior y educación media: caso carrera de Ingeniería Informática y Bachiller Técnico en Informática de la educación media. Para ello, hemos convocado a un conversatorio entre, Empresarios de Tecnologías de Encarnación y Asunción; directores de Bachillerato Técnico en Informática de Encarnación y Cambyretá; Supervisores del Ministerios de Educación y Ciencias (MEC) de Encarnación; Técnicos Coordinador Departamental del MEC, Directivos de la Facultad de Ingeniería y del Rectorado,

a docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática. Se conformó dos mesas de consultas. Los resultados obtenidos, de ambas mesas, coincidieron que el Bachillerato Técnico en Informática en el bloque de ciencias básicas, en comparación con los programas de estudios, del Curso Probatorio de Admisión (CPA), resultaba poco pertinente. En bases a este resultado hemos propuesto un ajuste curricular de las asignaturas del CPA, hemos dividido en fase general, basada en las matemáticas y fase específica, basada en lenguaje de programación. En virtud de esta propuesta, hemos logrado aumentar el número de ingresantes, tal es así que, de contar con un promedio de 17 alumnos como ingresantes, entre los años 2014-2019, a contar con un promedio de 34 alumnos como ingresantes, entre los años 2020-2022.

**PALABRAS CLAVE:** Ajuste curricular, educación media y educación superior

## INTRODUCCIÓN

A fin de proponer modelos educativos, que generen oportunidades laborales, acceso a la educación superior y que se reduzca el índice de deserción, los

países europeos tales como: Italia, Francia, España, Reino Unido, Portugal y Grecia, han propuesto la modificación de sus pruebas de acceso a la universidad, esta modificación consiste en una prueba de acceso que consta de una evaluación de fase general: que aprecia la madurez e idoneidad de los candidatos para elegir con éxito estudios universitarios, y una de fase específica: que valora las habilidades, capacidades y aptitudes de los candidatos, para lograr con éxito las diferentes enseñanzas universitarias vinculadas a cada una de las ramas de conocimiento. Según HAZ, Alianza por la Educación, el aprendizaje por competencia permite que los aprendizajes adquiridos en un nivel constituyan una base para la continuidad de los estudios, dando sentido a lo que se aprende y su utilidad práctica, enriqueciendo progresivamente el conocimiento de unas series de habilidades y actitudes, que permita al estudiante aprender para toda su vida, para enfrentarse a los retos aplicando conocimiento a un mundo cambiante (Gortazar et al. 2021).

En Latinoamérica el objetivo de la articulación entre la educación media y la educación superior, es favorece el acceso, permanencia y movilidad de los estudiantes entre la educación media y la educación superior (UNESCO 1998). Pero según, Guerrero-Mosquera et al. (2012) hay un abismo entre, cada vez más marcado, entre la educación media y la educación superior, debido los procesos educativos aislados que se llevan a cabo en forma independiente.

En Paraguay, según Alfonso, Martínez y Moreno (2016) la articulación entre la educación escolar básica (3<sup>er</sup>. ciclo), la educación media y el curso probatorio de ingreso de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Asunción, desde la correspondencia de los contenidos curriculares es parcial con educación escolar básica y poca o ninguna con la educación media en la mayoría de las materias.

Desde la carrera de Ingeniería Informática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Itapúa (FIUNI), hemos convocado a un conversatorio entre, Empresarios de Tecnologías de Encarnación y Asunción; directores de Bachillerato Técnico en Informática (BTI), de la educación media, de Encarnación y Cambyretá; Supervisores del MEC de Encarnación; Técnicos Coordinador Departamental del MEC, Directivos de la Facultad de Ingeniería y del Rectorado, a docentes y a estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática. Se conformó dos mesas de consultas. Los resultados obtenidos, de ambas mesas, coincidieron que el Bachillerato Técnico en Informática en el bloque de ciencias básicas, en comparación con los programas de estudios, del CPA, resultaba poco pertinente. Por tanto, hemos propuesto un ajuste curricular de las asignaturas del CPA, hemos dividido en fase general, basada en las matemáticas y fase específica, basada en lenguaje de programación. Con esta propuesta hemos logrado aumentar significativamente el número de ingresantes en la carrera de Ingeniería Informática.



## OBJETIVOS

Vincular la educación superior y la educación media, Bachillerato Técnico en Informática, a fin de lograr un mayor número de ingresantes en la carrera de Ingeniería Informática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Itapúa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En noviembre del 2019 se convocó a un conversatorio denominado: “Oportunidades para el Bachillerato Técnico en Informática”. Participaron de este conversatorio seis directores de BTIs de Encarnación y Cambyretá, 10 supervisores del MEC, cinco técnicos coordinador del departamento MEC, cuatro directivos y docentes de la FIUNI, tres empresas de Encarnación y Asunción (Integradevs, Banco Regional y la Cámara Paraguaya de la Industria del Software) y ocho alumnos extensionistas de la carrera de Ingeniería Informática, FIUNI, ver Figura 1.



Figura 1. Primer conversatorio: Educación superior y Educación media, BTI.

Los objetivos de este conversatorio fueron la de socializar las preocupaciones existentes acerca de la preparación laboral (teórica y práctica) de los egresados del BTI de la zona, socializar los desafíos presentados para el ingreso de los egresados del BTI a la carrera de Ingeniería Informática de la FIUNI, socializar las oportunidades laborales para los egresados del BTI y graduados de la carrera de Ingeniería Informática y por último lograr el apoyo de los directores del BTI para gestionar un proyecto piloto. Para ello, se

conformó dos mesas de consultas, conformados por supervisores del MEC, directores de BTI, docentes, autoridades de la FIUNI y empresarios, ver Figura 2 y 3.



Figura 2. Mesa 1 de Consultas.



Figura 3. Mesa 2 de Consultas.

Donde, trabajaron, en forma colaborativa, las siguientes preguntas de reflexión que se les presentó:

1. ¿Cómo estamos preparando a los jóvenes en un mundo laboral dominado por la Web, la nube y aplicaciones móviles?
2. ¿Cuántas matemáticas y físicas se necesita en el BTI? ¿Les estamos dando

suficiente? ¿Qué efecto tiene el BTI para estudiantes que luego desean ingresar en la carrera de Ingeniería Informática de la FIUNI? ¿Es una ventaja o desventaja?

3. ¿Cómo podría la FIUNI colaborar con la preparación/actualización de docentes del BTI?

A continuación, se presentan las respuestas acerca de las preguntas de reflexión para ambas mesas:

## Respuestas de la Mesa 1:

1. *¿Cómo estamos preparando a los jóvenes en un mundo laboral dominado por la Web, la nube y aplicaciones móviles?*

- Existe una problemática, ya que los jóvenes, hoy, tienen una idea muy apagada en cuanto a lo que implica la carrera de Ingeniería Informática.
- Un porcentaje muy bajo de los egresados del Colegio Técnico son parte del BTI (19%), ya que la cantidad de cupos es muy reducida a causa de los limitados recursos disponibles.
- El programa restringe la posibilidad de potenciar la creatividad de los alumnos y los induce a ser parte de un sistema estructurado que no les permite ampliar sus capacidades.
- No se cumple con el quinto pilar de la educación paraguaya, que consiste en enseñar a emprender.
- Implementar una idea creativa humanística.
- Analizar el programa de estudios.
- Adecuar al contexto social actual.
- Capacitar a docentes. (a lo que la Universidad puede ayudar y ser voluntaria a través de alumnos y docentes.)
- Los directores tienen la potestad de incluir material al programa de estudios, pero no la de sacar elementos del programa educativo. Esto complica el logro de objetivos.
- Apuntar a los docentes para que puedan desarrollar la creatividad e investigación.

2. *¿Cuántas matemáticas y físicas se necesita en el BTI? ¿Les estamos dando suficiente? ¿Qué efecto tiene el BTI para estudiantes que luego desean ingresar en la carrera de Ingeniería Informática de la FIUNI? ¿Es una ventaja o desventaja?*

- Actualmente en el BTI del Colegio Técnico se aplican 3 horas de “Matemática Común”, 3 horas de “Matemática aplicada a la Informática” y 3 horas de Física.
- Hay muchas falencias en la enseñanza básica de matemáticas y física. Uno de

los motivos se debe a que el Ministerio englobó la matemática a nivel estándar del país y no se desarrolla correctamente cada tema.

- Existe un miedo a la hora de encarar el probatorio de la Universidad. Por la deserción.
- Los alumnos no se adaptan al gran cambio entre los niveles, BTI y universidad.
- La universidad ve una falencia, creando una preocupación en los docentes. La cantidad de aplazados en cálculo y física es muy grande.

3. *¿Cómo podría la FIUNI colaborar con la preparación/actualización de docentes del BTI?*

- Capacitación dinámica y atractiva. Y que haya mayor interacción alumno/docente.
- En las jornadas gremiales se podrían desarrollar capacitaciones.
- Realizar seguimientos y obtener evidencias de la aplicación de la capacitación con cada tipo de método, a través de portafolios.
- Certificado con valor puntual, que motive al docente a concluir un aprendizaje y que se aplique a la sala de clases. Corregir a través de la retroalimentación de datos.
- El director gubernamental, a través de una carta dirigida al docente, que permita al mismo participar de las capacitaciones sin que esto les cause una pérdida de asistencia.

## **Respuestas de la Mesa 2:**

1. *¿Cómo estamos preparando a los jóvenes en un mundo laboral dominado por la Web, la nube y aplicaciones móviles?*

- Jóvenes en un mundo globalizado
- Elaboración de proyectos
- Fomentar ideas innovadoras
- Aplicaciones de clubes de interés
- Capacitación a docentes
- Nuevos contenidos
- Ideas de proyectos
- Actualización en tecnologías
- Conocimiento del campo laboral actual

2. *¿Cuántas matemáticas y físicas se necesita en el BTI? ¿Les estamos dando suficiente? ¿Qué efecto tiene el BTI para estudiantes que luego desean ingresar en la carrera de Ingeniería Informática de la FIUNI? ¿Es una ventaja o desventaja?*

- Cursos de apoyo a Matemática y Física
- Actualizar contenidos con respecto a lo desarrollado en la universidad
- Reforzar con horas de estudio
- Crear clubes, exposiciones, competencias

3. *¿Cómo podría la FIUNI colaborar con la preparación/actualización de docentes del BTI?*

- Acercamiento de la universidad a los colegios
- Visitas a colegios
- Charlas vocacionales
- Presentación de la carrera
- Presentación de la malla curricular
- Necesidades del campo laboral actual
- Charlas motivadoras
- Desarrollar un discurso de marketing de la carrera de Ingeniería Informática
- Crear una campaña publicitaria donde se expongan los puntos positivos y fuertes
- Desmitificar ideas negativas como dificultad y una carrera universitaria inalcanzable

Se concluyó en seguir trabajando, por medio de conversatorios, en forma conjunta a fin de planificar actividades en base a los resultados obtenidos en ambas mesas, pero, ante la pandemia del COVID-19, no se pudo seguir con los conversatorios. Pero, se siguió coordinando las actividades y proyectos con los principales representantes del MEC, Empresarios y la FIUNI, tanto en forma presencial como en forma virtual, ver Figura 4 y 5.



Figura 4. Reunión de Coordinación de actividades y proyectos.

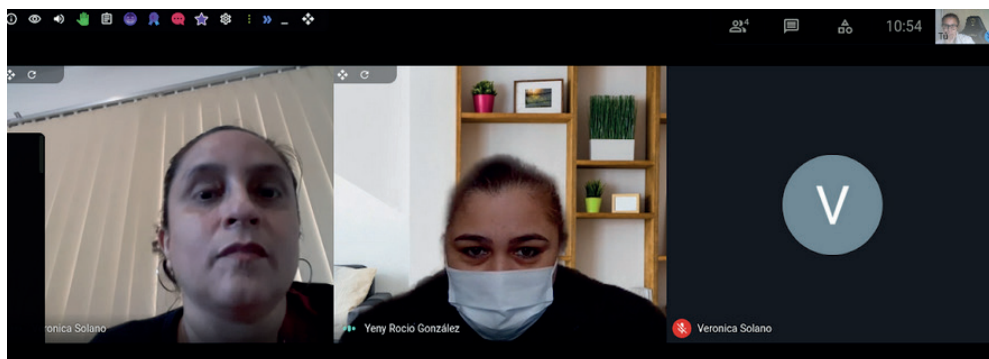


Figura 5. Reunión de coordinación: MEC, Integradevs y FIUNI.

De estas reuniones de coordinación de actividades y de proyectos se determinó los siguientes:

1. La empresa Integradevs: que desde el 2014 capacitó a los alumnos del BTI, de la zona, por medio de Talleres de programación. Donde los estudiantes de la carrera de Ingeniería Informática a través de la Extensión Universitaria, participaron como mentores de estos Talleres. Pero, en base a los resultados obtenidos del conversatorio se decidió capacitar a todos los docentes de la educación media, de todos los departamentos del país, esto por medio del Proyecto Tesape'a: *Talleres de Programación Móvil para Docentes: ApplInventor y Python*, coordinado por, MEC, Integradevs y la FIUNI, donde se pone en práctica el desarrollo mental, al razonamiento crítico y la creativa por medio de la resolución de problemas. Todas estas habilidades fortalecen al estudiante sin importa qué carrera decida elegir en

su futuro. Ver en la Figura 6, reuniones de coordinación y Figura 7 resultado de las capacitaciones a docentes.

2. Desde la dirección de Carrera de Ingeniería Informática y los asesores de la carrera: empresarios, docentes, egresados y delegados de cursos, aprobado por la Resolución Dec. N°: 098/2020, se propuso un ajuste curricular de las asignaturas del CPA, lo hemos dividido en fase general, basada en las matemáticas y fase específica, basada en lenguaje de programación, ver reuniones de Asesores de la Carrera de Ingeniería Informática en la Figura 8.



Figura 6. Coordinación del Proyecto Tesape'a.

- 43 docentes listos para enseñar Applinventor
- 20 docentes dispuestos a ayudar a organizar eventos nacionales
- Docentes impresionados por los tutores de FIUNI

# Logros

La Facultad de Ingeniería de la Universidad de Itapúa se ha posicionado como **EL LUGAR** para aprender programación

Muy buena relación con Direcciones de BT del MEC



Figura 7. Resultados de la capacitación a docentes de la educación media.

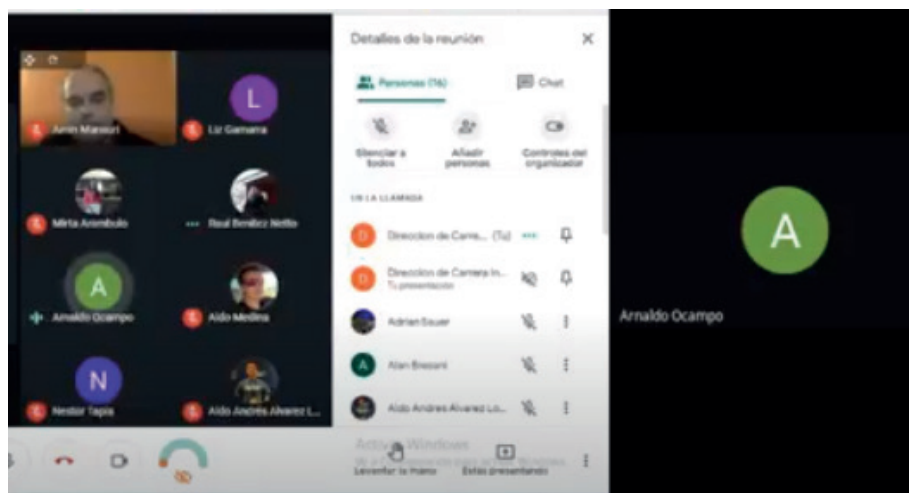


Figura 8. Reunión de Asesores de la Carrera de Ingeniería Informática.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado el ajuste curricular de las asignaturas del CPA, que hemos dividido en fase general, basada en las matemáticas y fase específica, basada en lenguaje de programación, se logró obtener mayor número de ingresantes en la carrera de Ingeniería Informática, ver Figura 9.



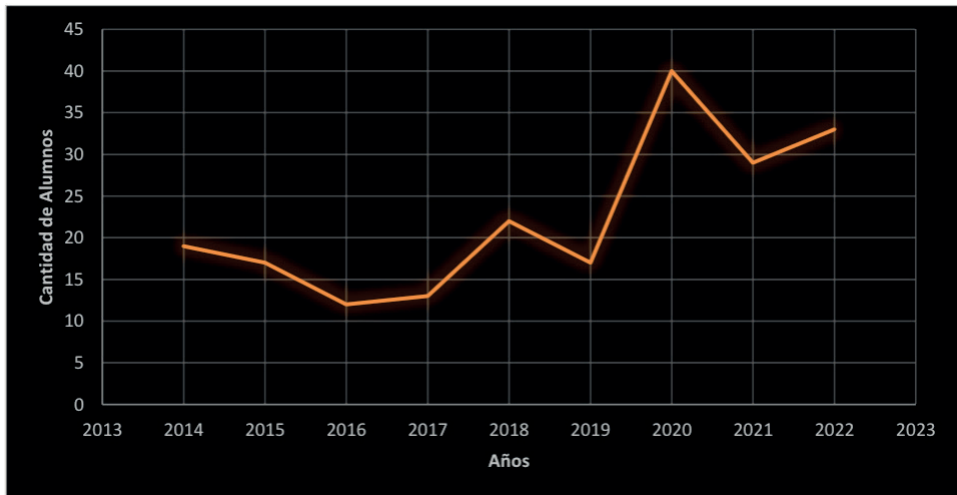


Figura 9. Número de Ingresantes en la Carrera de Ingeniería Informática de la FIUNI.

Donde, se puede observar que desde el 2020 se obtuvo mayor número de ingresantes en la Carrera de Ingeniería Informática. Tal es así que, de contar un promedio de 17 alumnos como ingresantes, entre los años 2014-2019, a contar con un promedio de 34 alumnos como ingresantes, entre los años 2020-2022.

Somos conscientes que hay mucho por seguir mejorando, tanto desde la educación media, como desde la educación superior, a saber:

1. Seguir mejorando los contenidos programáticos del CPA así como manifiesta HAZ, Alianza por la Educación, basado totalmente en competencias, es decir, que la fase general, sea para evaluar la madures e idoneidad de los candidatos para elegir con éxito estudios universitarios y en la fase específica, valorar las habilidades, capacidades y aptitudes de los candidatos, para lograr con éxito las diferentes enseñanzas universitarias vinculadas a cada una de las ramas de conocimiento.
2. Realizar ajustes en la malla curricular de la carrera de tal manera que el aprendizaje sea por competencia que permite que el aprendizaje adquirido sea de utilidad práctica, basado en el enriquecimiento progresivo. Tal es así que actualmente, contamos con una nueva malla curricular 2022 para la carrera de Ingeniería Informática, con los ajustes pertinentes, a implementarse con los ingresantes agosto 2023, todo esto a fin de reducir el índice de deserción y aumentar el número de egresados de nuestra carrera.
3. Contar con más empresas y fundaciones del Paraguay y del mundo que estén más comprometida con la educación, así como están haciendo HAZ, Alianza por la Educación, en Europa, que está conformado por grandes empresas y fundaciones unidas para transformar la sociedad por medio de la educación.
4. La capacitación continua con los docentes de la educación media por medio del Proyecto Tesape'a, motiva a los docentes a aprender a programar utilizando

materiales proveído por el curso y utilizando sus propios materiales para el desarrollo de sus clases. Este proyecto benefició, en el 2021, a más de 80 docentes de todo el país de forma directa y más de 200 estudiantes de la educación media. Cada 12 de octubre se realiza la presentación de las Apps desarrollados por los alumnos de los docentes que fueron capacitados. Para ello, nuestra casa de estudios realiza un Open House, para realizar dichas presentaciones.

## CONCLUSIONES

Hemos logrado aumentar el número de ingresantes en la carrera de Ingeniería Informática de la FIUNI, tal es así que, de contar con un promedio de 17 alumnos como ingresantes, entre los años 2014-2019, a contar con un promedio de 34 alumnos como ingresantes, entre los años 2020-2022. Esto se logró por medio de la vinculación entre la educación superior y la educación media, Bachillerato Técnico en Informática, de Encarnación y Cambyretá. Donde se detectó la necesidad de realizar un ajuste curricular de las asignaturas del CPA, por tanto, las evaluaciones del CPA constan de una evaluación de fase general, basada en las matemáticas y una evaluación de fase específica, basada en lenguaje de programación.

Por otro lado, la empresa Integratevs, el MEC y la FIUNI, por medio del Proyecto Tesape'a desde el 2020, capacitan a docentes de la educación media de todos los departamentos del país: docentes del BTI, Guaraní, Proyectos y Ciencia Sociales.

José Manuel Moreno, uno de los colaboradores de HAZ, Alianza por la Educación, propone: que la evaluación del Bachillerato para el acceso a la Universidad que sea más competencial y menos memorísticos (Gortazar et al. 2021).

## AGRADECIMIENTOS

A los Directores del BTI de Encarnación y Cambyretá; Supervisores MEC de Encarnación; Técnicos Coordinador Departamental del MEC; a la Empresa Integratevs S.A.; Banco Regional de Encarnación, la Cámara Paraguaya de la Industria del Software; a los Directivos, Docentes y Estudiantes de la FIUNI y UNI.

## REFERENCIAS

Alfonzo, Martínez y Moreno. 2016. Articulación de los planes de estudios de la Educación Escolar Básica (3° Ciclo) y Educación Media con el programa del Curso Probatorio de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional. Ministerio de Educación y Ciencias. ISBN: 978-99953-99-51-1

Gortazar, Gortazar, Juan Moreno, Inés Fernández, Ana Herrero, y Ángel Martínez. 2021. «Cuaderno sobre aprendizaje competencial en España: diagnóstico y recomendaciones para una transformación curricular exitosa». Center for Economic Policy - EsadeEcPol. Recuperado 5 de octubre de 2022 (<https://www.esade.edu/ecpol/es/publicaciones/cuaderno-sobre-aprendizaje-competencial-en-espana-diagnostico-y-recomendaciones-para-una-tranformacion-curricular-exitosa/>).

Guerrero-Mosquera, Andrea, Javier Andrés Martínez-Benavides, y Carlos Alberto Guazmayán-Ruiz. 2012. «Articulación entre la educación media y superior: Universidad de Nariño». Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación 4(9):741-53.

UNESCO. 1998. «Proyecto Principal de Educación en América Latina y el Caribe: boletín, 45 - UNESCO Biblioteca Digital». Recuperado 4 de octubre de 2022 ([https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000113160\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000113160_spa)).

# EFFECTO DE UN ANÁLISIS DE CLIENTES Y ACCIONES INTERFUNCIONALES DE LA EMPRESA SOBRE LAS ACCIONES ESTRATÉGICAS A CLIENTES EN LA ORIENTACIÓN AL MERCADO EN HOTELES PYMES

*Data de submissão: 06/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

**Hernández-León Rafael**

Universidad de Sonora campus Caborca

**Cadena-Badilla Jesús Martín**

Universidad de Sonora campus Caborca

**Vásquez-Quiroga Joaquín**

Universidad de Sonora campus Caborca

**León-Moreno Francisco Javier**

Universidad de Sonora campus Caborca

**RESUMEN:** El objetivo de esta investigación es Conocer el efecto de los constructos *Análisis de clientes* y *Coordinación interfuncional* sobre el constructo *Acciones estratégicas a Clientes* en un estudio sobre *Orientación al Mercado* de hoteles PYMES del estado de Sonora, México. Los datos son obtenidos mediante una encuesta realizada a ejecutivos de mandos medios. En el método se aplica un análisis estadístico con SmartPLS. Los resultados destacan la importancia de la calidad de la información, el efecto de realizar un análisis sobre clientes y las estrategias que se toman para la atención al cliente. En cuanto su originalidad, existen pocos estudios empíricos en esta área del conocimiento

en la región. La relevancia es proporcionar ideas para hacer eficiente las actividades internas de los hoteles. Se concluye que en escala de Likert de 1 al 5 se tiene una orientación al mercado por encima de la media, teniendo como limitante no poder generalizar los resultados a todo el país.

**PALABRAS CLAVE:** Orientación al mercado, clientes, SmartPLS.

**ABSTRACT:** The objective of this research is to know the effect of the constructs Customer Analysis and Interfunctional Coordination on the construct Strategic Actions for Customers in a study on Market Orientation of SME hotels in the state of Sonora, Mexico. The data is obtained through a survey of middle management executives. In the method, a statistical analysis with SmartPLS is applied. The results highlight the importance of the quality of the information, the effect of conducting an analysis on clients and the strategies taken for customer service. Regarding its originality, there are few empirical studies in this area of knowledge in the region. The relevance is to provide ideas to make the internal activities of hotels efficient. It is concluded that on a Likert scale from 1 to 5

there is a market orientation above average, with the limitation of not being able to generalize the results to the entire country.

**KEYWORDS:** Market orientation, customers, SmartPLS.

## 1 | INTRODUCCIÓN

El constructo Orientación al mercado (OM) tiene sus orígenes con investigaciones que se han realizado desde los años 60, por ejemplo, ejemplo Levitt (1960) y Drucker (1961). En la actualidad sigue siendo materia de estudio, debido a su importante contribución a las organizaciones establecidas o de reciente inicio. El constructo de OM ha sido modificado a través del tiempo para ser adaptado a los avances tecnológicos, económicos y sociales, y para lograr juntar todo el conocimiento sobre la OM en su definición, ha sido un reto de los investigadores. Como resultado existe una gran cantidad de definiciones, algunos de los primeros autores que participaron en su formación son: Felton (1959); Shapiro (1988); Kohli y Jaworski (1990); Narver y Slater (1990); Kohli, Jaworski y Kumar (1993); Pelham y Wilson (1996); y Kasper (1998).

Para poder evaluar el nivel de OM de las organizaciones se utiliza para cada participante del mercado una subescala de análisis, otra de acciones, además de una subescala para medir el grado de coordinación interfuncional. Así, la OM queda definida por nueve componentes conductuales: análisis del cliente, análisis del distribuidor, coordinación interfuncional, análisis de la competencia, análisis del entorno, acciones estratégicas sobre el cliente final, acciones estratégicas sobre el distribuidor, acciones estratégicas sobre la competencia, acciones estratégicas sobre el entorno (Larbin, 1996)

Para este estudio se consideró analizar los componentes de Lambin: acciones sobre cliente final, coordinación interfuncional y acciones estratégicas sobre los clientes.

De acuerdo a García, Benito y Varela (2011) la OM del cliente en las empresas hoteleras constituye un elemento clave de su éxito, por lo que resulta de interés su conocimiento, así como en qué medida ésta variable se asocia a diferentes características de las empresas.

Otro aspecto importante dentro de las PYMES es el constante aprendizaje. En este sentido, Rodríguez, Alonso, Celemín y Rubio (2008) consideran que el aprendizaje y la dirección del conocimiento organizativo se han configurado como fuentes importantes, para aumentar ventajas competitivas en las empresas en general y en particular para las empresas hoteleras. Sin un adecuado proceso de aprendizaje que se acople a las cuatro fases del proceso de dirección del conocimiento: creación, almacenamiento, transferencia y aplicación del conocimiento, las empresas hoteleras no pueden asegurarse su supervivencia en la actualidad. Donde la competencia es creciente y las exigencias de los clientes es mayor. Para tener un constante aprendizaje en las empresas, se pueden utilizar

instrumentos como son las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (Vega, 2012).

En un estudio realizado por Vega (2012) en empresas PYMES de la región de Sonora México, encontró una deficiencia en la cultura de OM por parte de los ejecutivos de mandos medios, ocasionada por una deficiente formación en el perfil de mercadotecnia. El estudio consistió en una encuesta donde los mandos medios se autocalificaron en las diferentes áreas de OM. Los resultados arrojaron: en cultura organizativa con OM, un promedio de 60, en el grado de escolaridad se encontró que el 45.45 por ciento de los ejecutivos responsables en atención al cliente en los hoteles, presentan una escolaridad menor a licenciatura, el 36.36 % tienen nivel de licenciatura, 9.09 por ciento niveles de especialidad y el 9.09 por ciento nivel de maestría.

## 2 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Podemos deducir por la literatura que la OM es un pilar fundamental para el éxito de las PYMES. Presenta un obstáculo que difícilmente se solventa en su totalidad convirtiéndose en un reto constante a superar para ser competente en el mercado. Por otro lado las empresas en general, tanto internacional, nacional y regional están en constante lucha para mantener una OM exitosa. Particularmente las PYMES del estado de Sonora México, muestran una deficiencia en OM en cuanto a filosofía, procesamiento de información, aprendizaje y coordinación interfuncional. Además las investigaciones realizadas sobre OM coinciden generalmente en una directa relación de la OM con el uso de tecnologías de información y comunicación, y la cultura empresarial fundamentada en usos y costumbres de las empresas. Entonces, ¿Es posible conocer el efecto de los constructos *Análisis de clientes* y *Coordinación interfuncional* de la empresa sobre el constructo *Acciones estratégicas a clientes*, en la OM de hoteles PYMES?

## 3 | OBJETIVO GENERAL

Conocer el efecto de los constructos *Análisis de clientes* (AC) y *Coordinación interfuncional* (CI) de la empresa sobre el constructo *Acciones estratégicas a clientes* (EC) en un estudio sobre OM de hoteles PYMES.

## 4 | HIPÓTESIS

H1. Realizar un análisis de clientes da como resultado a tomar mejores acciones estratégicas sobre los clientes

H2. Realizar acciones interfuncionales contribuye a mejorar las acciones estratégicas sobre los clientes

## 5 | METODOLOGÍA

Para este estudio se utilizó una muestra aleatoria de 100 de los 545 hoteles PYMES existentes según DATATUR (2021), de los 100 encuestados fueron 37 mujeres y 63 hombres. Se utilizó un nivel de confianza de 95% y un error permitido de 5%, condiciones de validez cuando el estimador del parámetro tiene un comportamiento normal.

Las variables dependientes e independientes, de este estudio operacionalizan de la siguiente manera:

- Análisis de clientes(AC) Permite conocer la satisfacción del cliente durante su estancia en el hotel.
- Coordinación interfuncional (CI): Operatividad interna de la empresa entre sus diferentes departamentos.
- Acciones estratégicas de clientes (EC): acciones que permiten ofrecer a los clientes soluciones adaptadas a sus necesidades y no simplemente productos/ servicios estándares, que respondan a las necesidades futuras del mercado.

El análisis de datos inferencial se realiza por medio del Modelado de Ecuaciones Estructurales. Al ejecutar el algoritmo de PLS, fue necesario eliminar ítems que no contaban con la carga mínima. Se ejecuta de nueva cuenta el modelo con el fin de mejorarlo. Por ello, con los 100 cuestionarios y en conjunto con los parámetros del software SmartPLS de un submuestreo de 5000 submuestras, el método del intervalo de confianza utilizado es Bias-Corrected and accelerated (BCa) Bootstrap, un tipo de test de una cola y el nivel de significación de .05, se obtuvo las cruces de variables, la matriz de correlación, las cargas factoriales, la varianza extraída media (AVE), t-statistic, la varianza explicada ( $R^2$ ), el tamaño del efecto (effect size) ( $f^2$ ), los coeficientes path estandarizados ( $\beta$ ), Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT) y la Standardized Root Mean Square Residual (SRMR), con el propósito de validar los valores obtenidos, verificar su consistencia, su homogeneidad, su heterogeneidad y de esta manera comprobar las hipótesis propuestas.

## 6 | RESULTADOS

En el análisis inferencial por medio del Modelado de Ecuaciones Estructurales, el cual una vez eliminados los ítems que no contaban con la carga mínima podemos observar en la Figura 1 los detalles en el nomograma de PLS.

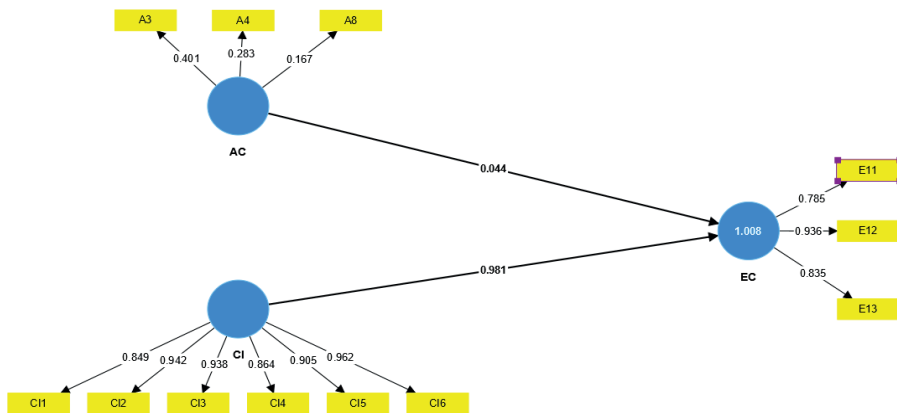


Figura 1. Elaboración propia

## a) Modelo de medida

Fiabilidad de ítems: los ítems muestran valores aceptables en los elementos CI y EC reflectivos (Tabla 1, Columna 2). Los factores de carga se encuentran en el rango de .785 a 0.962, superando el mínimo recomendado de .707. Sin embargo las cargas de los ítems del constructo AC presentó valores menores a 0.707.

- Consistencia interna (fiabilidad de constructos): la Tabla 1 Columna 3,4,5 y 6 indican que esta validación es la correcta para los constructos CI y EC al superar los mínimos aceptados por el estadístico de Fornell & Larcker (1981) de .707. Sin embargo para el constructo AC arrojó un valor menor de 0.707.
- Validación Convergente: la evaluación es adecuada para esta investigación. En la Tabla 1 Columna 7, se puede apreciar que AVE en dos constructos CI y EC superan el valor mínimo requerido de .500. El constructo AC presentó un valor menor a 0.5.
- Validación discriminante: para analizar este concepto, fue utilizado el método HTMT, que de acuerdo con Henseler et al. (2015) requiere un valor máximo de .85, la Tabla 2 sitúa los resultados como favorables existiendo una discordancia en la relación CI con EC

## b) Modelo estructurado

En la Tabla 3, se aprecia la evaluación del modelo y las hipótesis planteadas en base a la revisión de la literatura.

Al examinar los resultados de la Tabla 3 y Figura 1, es posible constatar que las hipótesis  $H_1$  y  $H_2$  cuentan con valores no significativos en t-statistic, el valores del coeficiente path en la hipótesis  $H_1$  es débiles (menor a .2: Chin, 1988) mientras que la hipótesis  $H_2$



presentó un coeficiente path satisfactorio y su  $f^2$  no cuenta con un impacto importante en las variables dependientes (se requiere al menos .15: Cohen, 1988). La significancia estadística (t-statistic) que se obtuvo en las hipótesis H1, H2 no es adecuada, al presentar valores mayores de .05 con ( $p < .05$ ).

Las hipótesis  $H_1$  es rechazadas con un  $\beta = -0.044$  y t-statistic de 0.088 ( $p < .05$ ). no cumplen con los valores mínimos requeridos. La hipótesis  $H_2$  es aceptada con  $\beta = 0.981$  y t-statistic de 70.922 ( $p < .05$ ).

Construtto Ítem	Carga	Alfa de Cronbach	Fiabilidad compuesta rho_a	Fiabilidad compuesta rho_c	Fiabilidad compuesta rho_c	AVE	R <sup>2</sup>
<b>AC</b>		0.230	0.235	0.210	0.210	0.090	No aplica
A3	0.401						
A4	0.283						
A8	0.167						
<b>CI</b>		0.966	0.968	0.960	0.960	0.830	No aplica
CI1	0.849						
CI2	0.942						
CI3	0.938						
CI4	0.864						
CI5	0.905						
CI6	0.962						
<b>EC</b>		0.884	0.896	0.890	0.890	0.730	1.008
E11	0.785						
E12	0.936						
E13	0.835						

Tabla 1. Confiabilidad individual de los ítems y variables

	AC	CI	EC
AC			
CI	0.474		
EC	0.541	1.010	

Tabla 2. Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT)

Hipótesis	$f^2$	Coefficiente path	T - statistic	Comentario
$H_1$ Acciones sobre clientes -> Estrategias sobre clientes	-0.180	0.044	0.088	Rechazada
$H_2$ Coordinación interfuncional -> Estrategias sobre clientes	-89.427	0.981	70.922	Aceptada

Tabla 3. Resumen de los resultados con SmartPLS

## 7 | CONCLUSIONES

### Introducción

Como conclusión se ofrece un resumen y discusión de los resultados obtenidos en relación al objetivo planteado, y una descripción de las aportaciones que este trabajo de investigación ofrece.

### En relación con el objetivo planteado

El objetivo de la investigación se cumple al obtener los resultados del análisis SmartPLS, y se concluye a partir de los resultados de  $f^2$  sobre las variables independientes correspondientes a las tecnologías: (a) la variable AC que presentan impacto muy pequeño o insignificante sobre la variable EC, (b) La variable CI presentan un pequeño considerable sobre la variable EC.

### Con respecto a las hipótesis planteadas

La hipótesis aceptada fue  $H_2$ , mientras que la hipótesis  $H_1$  fue rechazado, sin embargo la validación del modelo de medida y el modelo estructural es aceptable y se puede mejorar realizando ajustes en la valoración de los componentes analizados.

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que en próximos estudios es recomendable hacer ajustes en el modelo, manipulando el modelo estructural con diferentes interconexiones entre las variables. Otra alternativa es realizar una nueva encuesta quitando del instrumento los ítems eliminados en este primer análisis SmartPLS y realizar de nuevo el análisis en SmartPLS.

## REFERENCIAS

DATATUR (2021). Recuperado en [https://www.datatur.sectur.gob.mx/RAT/RAT-2021-07\(ES\).pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/RAT/RAT-2021-07(ES).pdf)

Felton, A.P. (1959): "Making the Marketing Concept Work". Harvard Business Review, 37 (4), pp. 55-62

Kasper, H. (1998): "Corporate Culture and Market Orientation: First and Preliminary Results from 18 Case Studies". 27th EMAC Annual Conference, from 20th to 23th may, Estocolmo. Proceedings, Vol. 2, pp.579-599.

Kohli, A. K. y Jaworski, B.J. (1990). "Market orientation: the construct, research propositions, and managerial implications". Journal of Marketing. Vol. 54.

Kohli, A. K., Jaworski, B. J. y Kumar, A. (1993). "Markor - A Measure of Market Orientation." Journal of Marketing Research, 30, 4 pp: 467-477.

Lambin, J. (1996). The Misunderstanding about Marketing. CEMS Business Review, 37-56.

Narver, J. C. y Slater, S. F. (1990). "The effect of a Market Orientation on business profitability." *Journal of Marketing*, 54, 4 pp: 20-35.

Pelham, A. M. y Wilson, D. T. (1996). "A longitudinal study of the impact of market structure, firma structure, strategy, and market orientation. Culture on dimensions of small-firm performance." *Journal of the Academy of Marketing Science*, 24, 1 pp: 27-43.

Shapiro, B.P. (1988). What the hell is market oriented?. *Harvard Business Review*. Vol. 66, No. 3, pp. 119-125. Publicado en 1989 bajo el titulo: "Ahora toda la empresa interviene en la estrategia de marketing". *Harvard Deusto Business Review*. No. 39, tercer trimestre, pp. 3-10.

# EFFECT OF ULTRAVIOLET LIGHT AND ULTRASONIC IRRADIATION ON DEGRADATION OF RHODAMINE B DYE

*Data de submissão: 17/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Richard Steve Ruiz Martínez**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Iztapalapa, Ciudad de México,  
09310, MÉXICO

### **Carlos Alvarado Camacho**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Iztapalapa, Ciudad de México,  
09310, MÉXICO

### **Carlos Omar Castillo Araiza**

Universidad Autónoma Metropolitana,  
Unidad Iztapalapa, Ciudad de México,  
09310, MÉXICO

**ABSTRACT:** The degradation of Rhodamine B dye in water was experimentally studied under two advanced oxidation processes, using ultraviolet light and ultrasound irradiation, in the presence of  $\text{TiO}_2$  catalyst. The effect of operational variables affecting the photocatalytic and sonocatalytic processes were studied, including catalyst loading, pH, and addition of  $\text{H}_2\text{O}_2$  as an oxidizing agent. The optimal operating conditions for higher dye degradation corresponded to ca.  $0.5 \text{ g L}^{-1}$  catalyst concentration, and  $\text{pH}=2.5$ , for both photocatalytic and sonocatalytic processes. These experimental conditions were then

considered to evaluate a possible synergy by combining both technologies, which showed that combination of both technologies exceed the degradation of each technology separately.

**KEYWORDS:** Dye degradation; Advanced oxidation processes; Synergetic effect.

## INTRODUCTION

According to the United Nations, the textile industry is responsible for 20% of the world's polluted water. This industry not only consumes significant amounts of water (in the order of 80 to 100 L per kg of cotton) but also usually releases chemical substances such as detergents, dyes, starches, among others, into its effluents [1]. Both situations result in the generation of large volumes of contaminated water with high organic loads and an intense color.

There are traditional methods of treating these effluents that are characterized by transferring the pollutant from one phase to another, which is a disadvantage since they require subsequent stages of treatment or disposal

of the pollutants. Biological treatment processes, on the other hand, are often not as effective at removing color and other recalcitrant molecules present in textile wastewater [2]. In more recent times, different alternative methods to conventional ones have been studied, which are based on the removal of contaminants through reactions with free radicals such as hydroxyl ( $\text{OH}^\cdot$ ), sulfate ( $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ), among others. These processes are known as advanced oxidation processes (AOPs), and they can destroy water contaminants and transforming them into less toxic products and eventually even eliminating them. Among these processes, the generation and type of the reactive radicals can differ, as it occurs with ozonation, ultraviolet radiation, and ultrasound-based processes [3, 4, 5, 6]. Photocatalytic oxidation has shown high efficiency in mineralizing pollutants in water, which has been associated to the generation of reactive oxygen species such as hydroxyl ( $\text{OH}^\cdot$ ) and superoxide ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) radicals [7]. Moreover, due to the physical forces and chemical reactions under sonochemistry, the use of ultrasound can yield effective water treatment processes, where contaminants are mainly degraded by hydroxyl radicals [8]. The hydroxyl radical is the most reactive oxidizing agent in wastewater treatment but once generated it has a relatively short life. It can be produced by irradiation with ultraviolet light, ultrasound application, combined with a catalyst, in addition to its possible combination with chemical agents such as  $\text{H}_2\text{O}_2$  [9]. More recently, attention has been paid to the combination between AOPs or with more traditional treatments, as is can improve the global effectiveness of the wastewater treatment process, by a global synergetic effect [10].

In the present work, the degradation of a dye is experimentally determined by both ultraviolet (UV) and ultrasonic cavitation (US) light, with and without the presence of alumina as a catalyst and of hydrogen peroxide as an oxidizing chemical agent. Finally, the combined operation of both UV and US on dye degradation is compared with the respective individual processes.

## METHODOLOGY

The degradation of Rhodamine B (RhB) under conditions of ultraviolet light and/or ultrasonic soundwaves is studied, using  $\text{TiO}_2$  as a catalyst, under different operating conditions. The reacting system consisted of reactors operated sequentially, one operated with a 10-watt UV lamp and the other with a low-frequency sonicator [11].

In the catalytic photodegradation and ultrasonic experiments, the main variables influencing the process (catalyst load, pH, and  $\text{H}_2\text{O}_2$  concentration) were studied and the best operating conditions for each system were obtained. In each experiment, the analysis of dye degradation over time was determined using UV/VIS spectroscopy.

## RESULTS

There are several important variables that affect the degradation of a dye in advanced oxidation processes based on the formation of free radicals using ultraviolet light or ultrasonic irradiation. Among the variables studied for each process modality are the concentration of the catalyst, the pH of the solution and the initial concentration of an oxidizing chemical agent. Figure 1 shows the effect of catalyst concentration on dye degradation both under ultraviolet (UV) light and under ultrasound (US) irradiation, for 10 ppm initial dye concentration and 60 min exposure. The figure shows that even without the presence of catalyst, there is a slight conversion of the dye because of UV light. However, because in the photocatalytic process the reactive species are formed in the active centers on the surface of the catalyst, it is observed that the gradual addition of catalyst shows a continuous increase until a maximum value in the percentage of discoloration is reached. For the present experimental case, the optimal concentration of catalyst was ca.  $0.5 \text{ g L}^{-1}$ , as a gradual decrease in the percentage of dye degradation was observed at higher catalyst concentrations (not shown in the figure). Such decrease was most likely produced by a “shadowing effect” that takes place at high catalyst loading which inhibits light penetration through the liquid to the catalyst surface [12]. It is evident that determination of the optimal catalyst concentration is of fundamental importance in terms of the economic viability of the process.

Figure 1 also shows the effect of catalyst presence under US conditions. The application of an acoustic field of ultrasonic waves in water can generate small bubbles of water vapor by cavitation, which when imploded locally produce extreme pressures and temperatures that generate highly reactive free radicals capable of degrading the dye [13]. As can be seen in Figure 1, this phenomenon can occur with and without the presence of the catalyst. The effect of the addition of catalyst produced a slight increase in the degradation of the color of the solution, less significant compared to what is observed with ultraviolet light. Something that was observed for US is that the optimal concentration of catalyst concentration is like that found for UV.

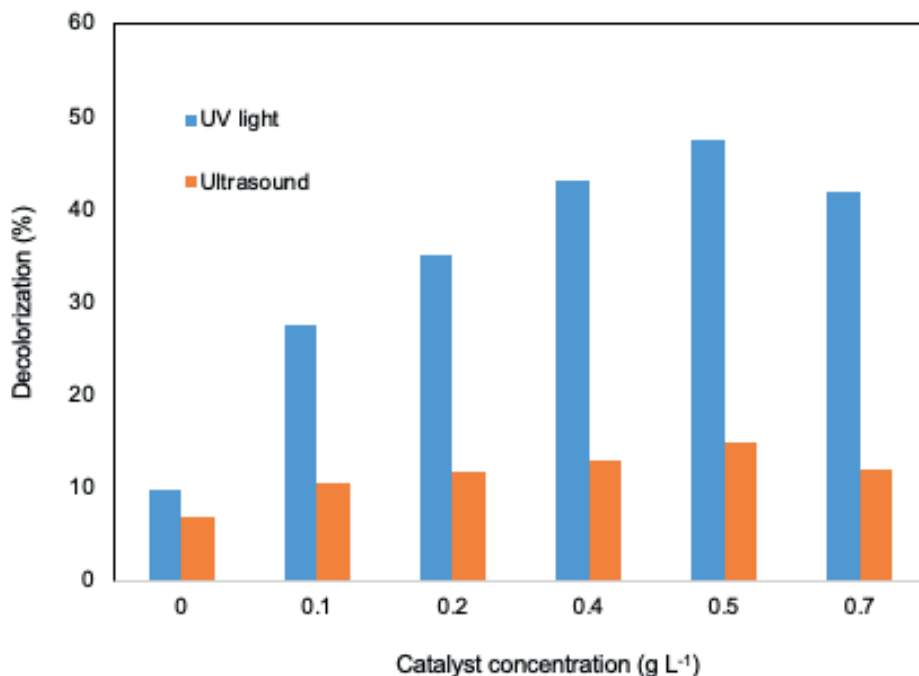


Figure 1. Color degradation as a function of catalyst concentration under ultraviolet light and ultrasound.

The pH value is an important operational variable in water treatment that influences the rate of degradation. This is because pH is related to the ionization state of the TiO<sub>2</sub> surface as well as the dye which influences their physical interaction. The ionization states of the catalyst surface are affected by pH according to following reactions, where the surface is positively charged in acidic medium and negatively charged in alkaline condition [14].



Figure 2 presents the effect of pH of the solution on dye decolorization, after 1 h exposure to either UV or US. It is observed that the degradation of the dye is favored at relatively low pH values, for both treatment processes, and it is also observed in this case that, for similar conditions, comparatively higher levels of degradation with UV light are observed (67% and 36%, respectively at pH 2.5). This effect has to do with the fact that pH affects the surface charges of the catalyst, with net positive charges of TiO<sub>2</sub> in acid medium and negative charges in basic media. On the other hand, it has been reported that under acidic conditions, the RhB dye in water is ionized and under such conditions the carboxylic group is dissociated and negatively charged, which favors its attraction to the positive surface of the catalyst [15]. At alkaline pH values the catalyst surface is negatively charged and the RhB molecule is in the switterionic form (RhB<sup>±</sup>), and certain part of the

molecule can be attracted to the catalyst surface by an electrostatic force and increase dye degradation [16].

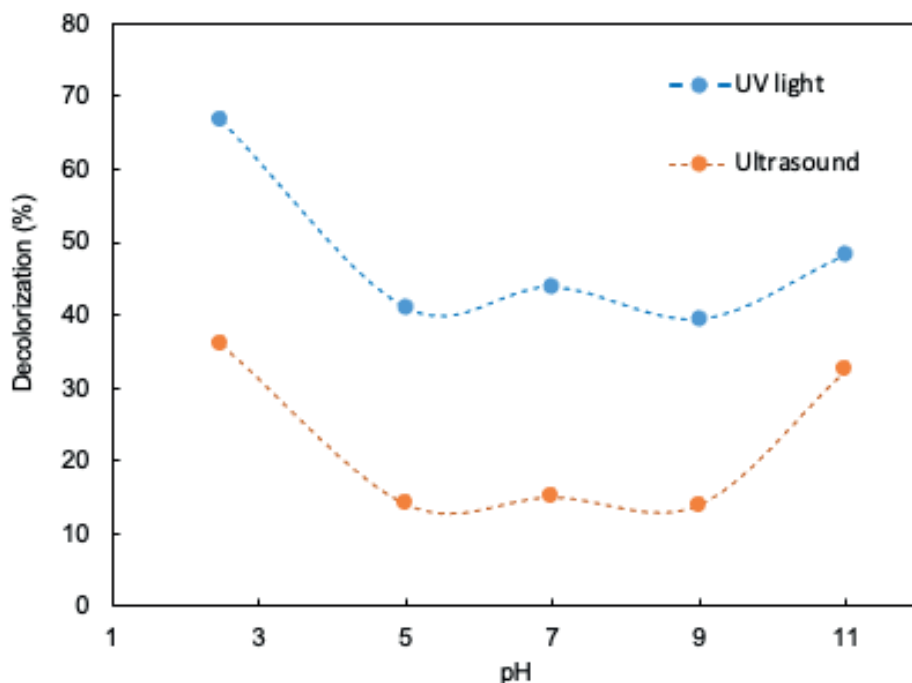
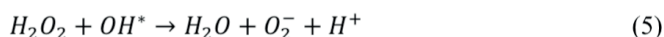


Figure 2. Color degradation as a function of pH under ultraviolet light and ultrasound.

In advanced oxidation processes, the degradation of contaminants can be favored by the addition of oxidizing substances. In the present work, hydrogen peroxide was used as an oxidizing agent and the effect of its concentration on the discoloration of the RhB dye was analyzed using Titania as a catalyst, ultraviolet light, and ultrasound waves. Figure 3 shows that for photocatalysis, the addition of  $H_2O_2$  at 150 ppm allows an increase in dye degradation of up to approximately 10%. As shown in equations 3 and 4, the reagent  $H_2O_2$  can generate hydroxyl radicals and thereby increase the degradation of the dye. This effect has a limited benefit since it is found that when the concentration of  $H_2O_2$  continues to increase, the degradation of the dye decreases (see Figure 3), which is the result of a reduction of available hydroxyl radicals [17], due to its consumption when reacting with an excess of hydrogen peroxide as described in reaction 5.





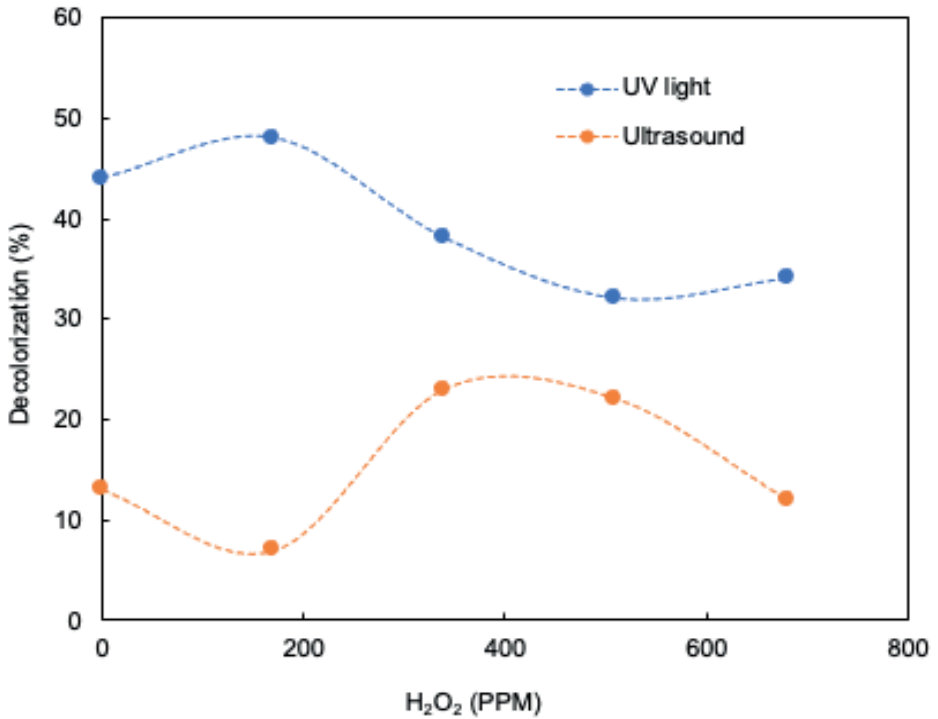


Figure 3. Effect of the addition of hydrogen peroxide on dye degradation in photocatalytic and ultrasound irradiated systems.

Also, in Figure 3 the effect of the addition of hydrogen peroxide under the presence of catalyst and under an ultrasonic wave field is presented. Ultrasound generates cavitation points under which conditions free radicals are generated from the breakdown of water molecules as shown in equation 6 [18]. Similarly, hydrogen peroxide can also be broken down into hydroxyl radicals by ultrasound (reaction 7). As in the case of photocatalysis, the addition of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> helps break down the dye molecule through the formation of highly reactive free radicals. After a maximum value in degradation (about 400 ppm), at higher concentrations of peroxide, a decrease in the degradation rate is also observed, probably because of the possible consumption of hydroxyl radicals by the reaction with the peroxide itself (eq. 5).



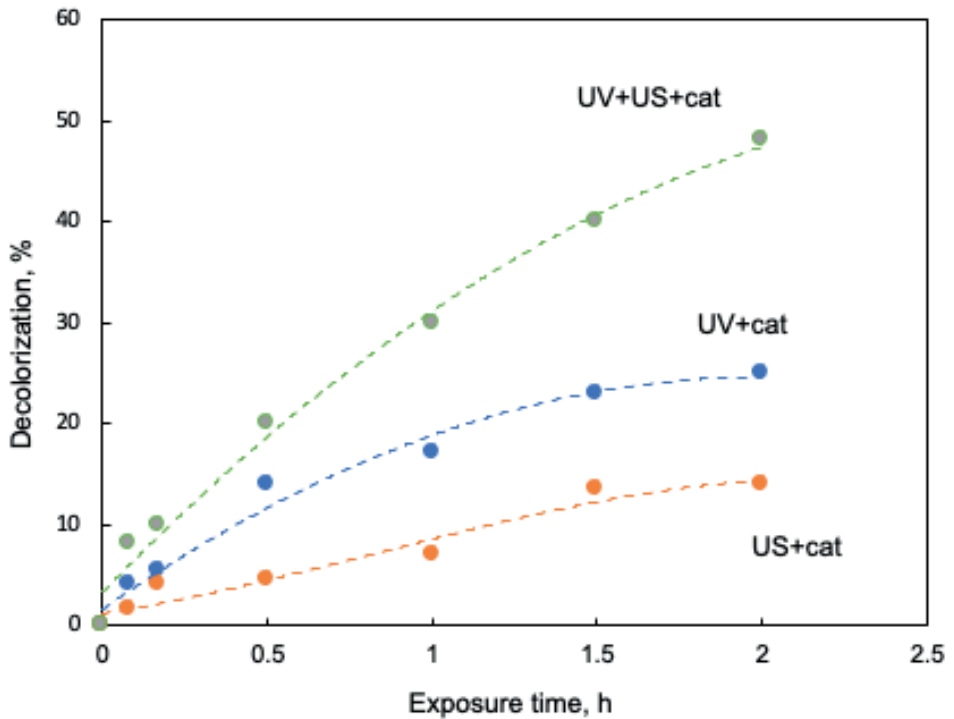


Figure 4 Dyestuff degradation kinetics for three different reaction processes using catalyst, UV, and US.

In the present work, the dye degradation kinetics in aqueous solution are also presented for three cases: i) sonocatalysis, ii) photocatalysis, and iii) photo-sonocatalysis, which results from a combination of the previous two. Figure 4 presents these results in terms of percentage of color loss of the solution over a period of 2 h. It is evident that the process that showed the highest degradation was that produced by photo-sonocatalysis (close to 50%) followed by photocatalysis (slightly below 25%) and finally sonocatalysis (approximately 13% degradation).

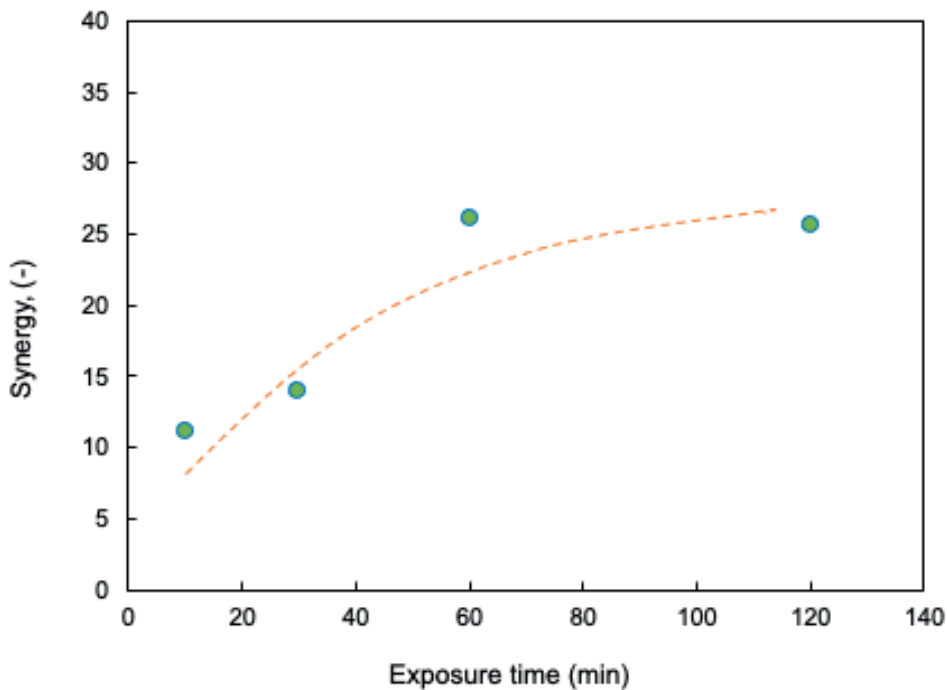


Figure 5 Effect of the synergy of applying simultaneously UV and US in the dye degradation process.

In addition to the evident differences between the three cases in Figure 4, it has been verified whether a positive combined effect of UV and US is achieved when they are operated simultaneously, that is, by a synergistic effect between the two. For this purpose, equation 8 has been used to compare the discoloration of the system operated with UV and US simultaneously in the reactor, and the result of adding the discoloration results of the processes operated separately from UV and US.

$$\text{Synergistic effect} = \frac{\text{Photosonocatalysis} - (\text{Photocatalysis plus sonocatalysis})}{(\text{Photocatalysis plus sonocatalysis})} \times 100\% \quad (8)$$

Figure 5 shows the synergistic effect of degradation defined according to equation 8, at different reaction times in a two-hour period. It can be seen in this figure that when operating the reactor under the combined application of UV and US, a synergistic effect can be generated that exceeds the sum of the individual results. This effect is less important at shorter times and turned out to be in the order of 13%, while at longer reaction times values close to 25% were reached. A possible explanation for the increased synergistic effect observed with increasing reaction time is that US helps limit some problems that occur in the operation of the photocatalytic system [19]. One of them is that with the operating time of the photoreactor, the aggregation of fine catalyst particles occurs, thus reducing the catalytic area exposed to light and causing the consequent reduction in the efficiency of the process

[20]. In this respect, the application of ultrasound helps to disperse the particle aggregates again. The presence of US can also be attributed to a better liquid-solid mass transfer on the particle surface in addition to a cleaning effect on the catalytic surface, which helps to remove adsorbed material that accumulates over operating time [21].

## CONCLUSIONS

The degradation of dye Rhodamine B in aqueous solution was compared using ultraviolet light and ultrasound. For each of these two advanced oxidation methods, the optimal concentration of the catalyst, the effect of the addition of hydrogen peroxide as a chemical oxidizing agent, as well as the initial pH of the solution were experimentally determined. The degradation with UV light was not only higher than that observed with US individually, but also turned out to be more efficient from the point of view of energy use. However, from the joint operation of both, a synergy was observed that exceeded the sum of these separately. This synergistic effect appears to have become more noticeable with the passage of reaction time, and this can be attributed to the fact that ultrasonic waves can help reduce problems in the photocatalytic system, as it is known that they can be useful in reducing the formation of catalyst aggregates by surface forces as well as improving the transport and cleanliness of the catalytic surface

## REFERENCES

- [1] BERGAMINI, R.B.M., AZEVEDO, E.B., & RADDI DE ARAÚJO, L.R., Heterogeneous photocatalytic degradation of reactive dyes in aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions: Decolorization kinetics, *Chemical Engineering Journal*, vol. 149, p. 215–220, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.10.019>
- [2] MATHIVANAN, V., MANJARI, S.G., INEYA, R., SARAVANATHAMIZHAN, R., KUMAR, P.S., & RAMAKRISHNAN, K., Enhanced photocatalytic decolorization of Reactive Red by sonocatalysis using TiO<sub>2</sub> catalyst: Factorial design of experiments, *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, p. 1–10, 2014. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.983182>
- [3] GUO, Y., ZHU, S., WANG, B., HUANG, J., DENG, S., YU, G., & WANG, Y., Modelling of emerging contaminant removal during heterogeneous catalytic ozonation using chemical kinetic approaches, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 380:120888, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120888>
- [4] GUIMARAES, R., MANIERO, M.G., DE ARAÚJO, R.N., A comparative study on the degradation of RB-19 dye in an aqueous medium by advanced oxidation processes, *Journal of Environmental Management*, vol. 110, p. 33–39, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.020>
- [5] POYATOS, M., MUÑO, M.M., ALMECIJA, M.C., TORRES, J.C., HONTORIA, E., & OSORIO, F., Advanced oxidation processes for wastewater treatment: state of the art, *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 205 p. 187–204, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0065-1>
- [6] KAUSLEY, B., DESAI, K.S., SHRIVASTAVA, S., SHAH, P.R., PATIL, B.R., & PANDIT, A.B., Mineralization of alkyd resin wastewater: feasibility of different advanced oxidation processes, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, p. 3690–3701, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.001>

- [7] AL-NUAIM, M.A., ASAWER A. ALWASITI, A.A., & SHNAIN, Z.Y., The photocatalytic process in the treatment of polluted water Chemical Papers, vol. 77, p. 677–701, (2023). <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02468-7>
- [8] ADAMOU, P., HARKOU, E., VILLA, A., CONSTANTINO, A. & DIMITRATOS, N., Ultrasonic reactor set-ups and applications: A review, Ultrasonics Sonochemistry, vol. 107, 106925, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106925>
- [9] AL-BSOUL, A., AL-SHANNAG, M., TAWALBEH, M., AL-TAANI, A., LAFI, W.K., AL-OTHMAN, A., & ALSHEYAB, M., Optimal conditions for olive mill wastewater treatment using ultrasound and advanced oxidation processes, Science of the Total Environment, 134576, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134576>.
- [10] PONNUSAMI, B., SINHA, S., ASHOKAN, H., PAUL, M.V., HARIHARAN, S.P., ARUN, J., GOPINATH, K.P., HOANG LE, Q., & PUGAZHENDHI, A., Advanced oxidation process (AOP) combined biological process for wastewater treatment: A review on advancements, feasibility and practicability of combined techniques, Environmental Research, vol. 237, 116944, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116944>
- [11] CAMACHO ALVARADO, C. (2016). *Estudio cinético de la degradación fotosonocatalítica de rodamina B e indigo carmín utilizando catalizadores a base de TiO<sub>2</sub> (TiO<sub>2</sub> DP-25 y TiO<sub>2</sub>/ZrO<sub>2</sub>)*[Master in Science dissertation, Universidad Autónoma Metropolitana]. Universidad Autónoma Metropolitana Research Repository. <https://doi.org/10.24275/uami.8910jt69n>
- [12] CAUDILLO-FLORES, U., MUÑOZ-BATISTA, M.J., FERNÁNDEZ-GARCÍA, M., & KUBACKA, A., Recent progress in the quantitative assessment and interpretation of photoactivity, Catalysis Reviews, vol. 66:2, p. 531-585, 2022. <https://doi.org/10.1080/01614940.2022.2075535>
- [13] YUSOF, N.S.M., ANANDAN, S., SIVASHANMUGAM, P., FLORES, E.M.M., & ASHOKKUMAR, M., A correlation between cavitation bubble temperature, sonoluminescence and interfacial chemistry – a minireview, Ultrasonic Sonochemistry. vol. 85, 105988, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105988>.
- [14] NATARAJAN, T.S., KALITHASAN, THOMAS, M., NATARAJAN, K., BAJAJ, H.C., & TAYADE, R.J., Study on UV-LED/TiO<sub>2</sub> process for degradation of Rhodamine B dye, Chemical Engineering Journal, vol. 169, p. 126–134, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.066>
- [15] CHEN, F., ZHAO, J., & HIDAKA, H., Highly selective deethylation of Rhodamine B: Adsorption and photooxidation pathways of the dye on TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> composite catalyst, International Journal of Photoenergy, vol. 5, p. 209–217, 2003. <https://doi.org/10.1155/S1110662X03000345>
- [16] AL-KAHTANI, A., Photocatalytic degradation of Rhodamine B dye in wastewater using gelatin/CuS/PVA nanocomposites under solar light irradiation, Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, vol. 8, p. 66-82, 2017. <http://dx.doi.org/10.4236/jbnb.2017.81005>
- [17] VERMA, A., SANGWAN, P., & DIXIT, D., Sonophotocatalytic degradation studies of Alizarin Reactive Red dye, Arabian Journal of Science and Engineering, vol. 39, p. 7477–7482, 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-014-1309-y>
- [18] PANG, Y.L., ABDULLAH, A.Z., & BHATIA, S., Comparison of sonocatalytic activities on the degradation of Rhodamine B in the presence of TiO<sub>2</sub> Powder and Nanotubes, Journal of Applied Sciences, vol. 10, p. 1068–1075, 2010. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.1068.1075>

[19] PAUSTIAN, D., FRANKE, M., STELTER, M., BRAEUTIGAM, P., Sonophotocatalysis—Limits and possibilities for synergistic effects, *Catalysts*, vol. 12, p. 754, 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/catal12070754>

[20] JOSEPH, C.G., PUMA, G.L., BONO, A., KRISHNAIAH, D., Sonophotocatalysis in advanced oxidation process: A short review, *Ultrasonic Sonochemistry*, vol. 16, p. 583–589, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2009.02.002>

[21] YAP, H. C., PANG, Y. L., LIM, S., ABDULLAH, A. Z., ONG, H. C., & WU, C. H. A comprehensive review on state-of-the-art photo-, sono-, and sonophotocatalytic treatments to degrade emerging contaminants, *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, p. 601-628, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1961-y>

# REQUALIFICAÇÃO URBANÍSTICA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PRESIDENTE GETÚLIO/SC

*Data de submissão: 27/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Martins, B. G.**

Departamento de Engenharia Civil  
da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Ibirama – CEP 89.150-000,  
Brasil.

### **Santos, R.P.**

Departamento de Engenharia Civil  
da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Ibirama – CEP 89.150-000,  
Brasil.

**RESUMO:** O planejamento urbano frequentemente negligencia o aspecto humano, priorizando a infraestrutura para veículos em detrimento dos pedestres. Essa abordagem, historicamente consolidada, tem contribuído para o comprometimento de elementos essenciais à qualidade de vida urbana, como a segurança, o convívio comunitário e a vitalidade das cidades. A predominância de sistemas viários projetados para automóveis marginaliza pedestres e ciclistas, reforçando desigualdades e criando ambientes hostis à interação humana. Este estudo aborda a requalificação urbanística no município de Presidente Getúlio, SC, como um exemplo concreto de ressignificação do

espaço urbano, considerando aspectos de mobilidade sustentável, inclusão social e planejamento participativo. Diante de desafios como a infraestrutura precária e os danos causados pela enxurrada de 2020, que afetaram profundamente a cidade, a pesquisa propôs intervenções orientadas por uma metodologia inovadora. O trabalho foi estruturado em fases bem definidas, com destaque para o uso de uma metodologia de projeto baseada na geração de inovações disruptivas e em um sistema de decisão quantitativo que permitiu hierarquizar soluções. A análise partiu da identificação de problemas como calçadas inadequadas, ausência de ciclovias, sinalização insuficiente e pavimentos em más condições. A partir disso, foram propostas reconfigurações do sistema viário, considerando novas dimensões e disposições que priorizam pedestres, ciclistas e áreas verdes. O conceito mais adequado foi desenvolvido com base em critérios técnicos e sustentáveis, utilizando ferramentas de modelagem BIM (Building Information Modeling). Essa tecnologia possibilitou não apenas a visualização detalhada do projeto, mas também uma avaliação qualitativa do impacto das intervenções no tráfego local. As simulações

indicaram que a reorganização espacial das vias, apesar de promover mudanças significativas no uso do espaço público, manteve a funcionalidade viária e garantiu a fluidez do trânsito. Este trabalho oferece contribuições relevantes ao campo da engenharia urbana, propondo soluções que conciliam baixo impacto ambiental e alto potencial replicável. As intervenções estão alinhadas às diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, priorizando o transporte não motorizado, a inclusão e a sustentabilidade. A experiência de Presidente Getúlio ressalta o papel transformador de intervenções urbanísticas bem planejadas, que resgatam a função social do espaço público e promovem cidades mais seguras, acessíveis e voltadas para as pessoas. Assim, o estudo reafirma a importância de um planejamento urbano que priorize o fator humano, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento e qualidade de vida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Projeto urbanístico; Requalificação arquitetônica; Intervenções urbanísticas.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o planejamento urbano tem negligenciado o aspecto humano, marginalizando as funções desempenhadas por vias e calçadas nas cidades. Como destacado na literatura, especialmente por Jacobs (2014), ruas e calçadas não são apenas vias de passagem; elas constituem os principais espaços públicos das cidades, funcionando como órgãos vitais no organismo vivo que elas representam.

Jacobs (2014) enfatiza que o espaço público transcende funções básicas como mobilidade e lazer. Ele desempenha um papel crucial, ainda que muitas vezes sutil, na segurança, no convívio comunitário e na vitalidade urbana. Contudo, a urbanização, frequentemente desordenada e descontrolada, gerou distorções que afastaram os pedestres do espaço urbano, transformando ruas e calçadas em domínios exclusivos dos automóveis. Essa realidade se manifesta tanto em grandes metrópoles quanto em cidades médias e pequenas no Brasil. Muitos desses cenários urbanos ou resultam de uma urbanização sem planejamento ou de planejamentos que priorizam interesses de minorias, desconsiderando as necessidades da população em geral (GEHL, 2013).

De acordo com a Comissão Europeia de Mobilidade e Transporte (2023), 50% do espaço das cidades é ocupado por sistemas viários, mas esse espaço é plenamente utilizado apenas 5% do tempo. No Brasil, essa discrepância é ainda mais evidente, considerando os dados da Associação Nacional de Transporte Público (ANTP, 2017), que apontam que o deslocamento a pé é o meio de transporte mais utilizado no país.

Incorporar o fator humano e considerar as características locais no planejamento urbano é essencial para revitalizar os municípios e promover qualidade de vida. Espaços projetados com foco nas pessoas tornam-se seguros, acessíveis e convidativos para pedestres e ciclistas, criando um ambiente urbano mais equilibrado e funcional (GEHL, 2013).



Um exemplo é a transformação da rua Strøget, em Copenhague, que, em 1962, foi convertida em um grande calçadão. Hoje, Strøget é reconhecida como a maior rua comercial exclusiva para pedestres do mundo. O sucesso dessa iniciativa, seguido por outras vias para pedestres na cidade, não se deve apenas à criação de espaços destinados à circulação de pessoas, mas à concepção de uma cidade pensada para seus habitantes. A transformação incluiu a substituição de áreas dominadas por automóveis por praças públicas, a implementação de soluções que facilitaram a mobilidade e a reestruturação do zoneamento urbano, reduzindo a necessidade de deslocamentos longos (MENDONÇA, 2021).

No Brasil, iniciativas como a de Copenhague ainda são pouco comuns, e muitas cidades sofrem com os impactos da urbanização desordenada. Um exemplo disso é o município de Presidente Getúlio, localizado no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil. Atualmente, algumas ruas do centro da cidade encontram-se em estado depreciado, com baixa acessibilidade e uso inadequado do espaço urbano. Parte desses problemas foi agravada pela enxurrada de 2020, um desastre que praticamente devastou a cidade, deixando marcas profundas na infraestrutura e no desenvolvimento urbano local. A Figura 1 exemplifica o estado dessas vias.



Figura 1 - Imagem da rua Hebert Zink, em Presidente Getúlio/SC. Calçadas inadequadas, pavimento irregular, ausência de espaço destinado para ciclistas e sinalização inexistente caracterizam a via.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023).

Nesse contexto, Presidente Getúlio possui um grande potencial para reestruturar sua hierarquia viária, adotando novas configurações que promovam a qualidade de vida da população. Essas mudanças podem incluir a ampliação da acessibilidade para pedestres e ciclistas, contribuindo para a criação de um ambiente urbano mais inclusivo e sustentável.

Com uma abordagem sistemática e uma metodologia de projeto voltada ao desenvolvimento de concepções inovadoras, o presente trabalho propõe um conjunto de

soluções que possibilitam a seleção da alternativa mais adequada para as vias escolhidas. Os impactos da implementação dessa intervenção foram analisados qualitativamente por meio de software de modelagem BIM.

## 2 | PLANEJAMENTO URBANO: A IMPORTANCIA DO ESPAÇO URBANO

Nas últimas décadas, diversos estudiosos passaram a classificar os espaços públicos urbanos como locais fundamentais para a manifestação da vida pública e a prática da cidadania, atribuindo-lhes, assim, uma conquista sociopolítica associada à sua utilização (Abrahão, 2008).

Além de seu papel na promoção da cidadania, os espaços públicos desempenham uma função crucial na promoção da saúde e do bem-estar dos cidadãos. Como destaca Gehl (2013), a cidade se transforma em um organismo vibrante quando mais pessoas se sentem convidadas a caminhar, pedalar ou simplesmente permanecer nesses espaços.

Nesse contexto, Arantes (1998) amplia a visão sobre as ruas, definindo-as como algo muito além de meros caminhos ou formas de passagem. Para ele, as ruas representam um universo de múltiplos eventos e relações, onde se entrelaçam tanto os bons quanto os maus lugares, refletindo as complexas dinâmicas sociais e urbanas.

Portanto, é essencial que ruas e espaços públicos sejam projetados para incentivar a atividade física, promover o contato com a natureza e facilitar a interação social. Isso contribui diretamente para a redução do sedentarismo, da obesidade e de outras doenças relacionadas a estilos de vida pouco saudáveis.

No século XIX, na Europa, os espaços urbanos passaram por intervenções nos espaços públicos com o objetivo de reverter, ou ao menos minimizar, os impactos negativos causados pela industrialização nas cidades. Essas mudanças ajudaram a promover novos hábitos sociais, os quais, posteriormente, tiveram repercussões internacionais. Como mostra o Quadro 1, existem cidades que demonstram como a utilização do espaço urbano voltado para as pessoas pode promover significativamente a segurança e o bem-estar da população.

São Francisco, Califórnia/EUA:  
Após o terremoto de 1989, a Rua Embarcadero foi transformada de via expressa em um bulevar arborizado com bondes e infraestrutura para pedestres e ciclistas, melhorando a qualidade de vida urbana.



Nova Iorque, Nova Iorque/EUA: Em 2008 em Nova Iorque foi criado a PlaNYC. Um plano de intervenções urbanísticas com o intuito de criar uma cidade melhor e mais verde, melhorando espaços públicos como calçadas, ciclovias e instalação de estacionamentos para bicicletas.



Curitiba, Paraná/Brasil: Em 1972, se iniciou as obras de fechamento da Rua XV de Novembro, onde os automóveis cederiam espaço aos pedestres. As obras duraram cinco dias, tempo esse no qual os comerciantes elaboraram um abaixo assinado pedindo a reabertura da rua. A Rua XV virou o primeiro calçadão do Brasil, tendo aceitação dos pedestres, dois ou três dias depois das obras prontas, os comerciantes esqueceram do abaixo-assinado, pois a clientela aumentou e uma sensação de bem-estar tomou conta.



Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil: Iniciado em 2009, o projeto teve como objetivo transformar a Zona Portuária da cidade, antes degradada, em um espaço moderno, sustentável e acessível. Entre as principais intervenções estão a demolição do Elevado da Perimetral, a criação do Boulevard Olímpico, a revitalização de edifícios históricos e a implementação de áreas de convivência, como a Praça Mauá, que abriga o Museu do Amanhã e o Museu de Arte do Rio (MAR).



Quadro 1 - Alguns exemplos bem sucedidos de requalificações urbanísticas de áreas degradadas.

Fonte: adaptado de (Gehl, 2013), Leitões (2016).

### 3 | MOBILIDADE SUSTENTÁVEL

A promoção da mobilidade sustentável pode ser vista como uma estratégia para reduzir o uso de veículos particulares. Essa abordagem está diretamente ligada a medidas que integram o uso eficiente do solo com soluções de transporte, visando facilitar o acesso da população às suas atividades por meio do incentivo ao uso de bicicletas e caminhadas. Em áreas urbanas, essas práticas contribuem para a redução do consumo de energia e diminuição da emissão de poluentes (Silva, Souza e Mendes, 2005).

Para alcançar esse objetivo, é indispensável a implementação de estratégias integradas, fundamentadas em elementos de planejamento urbano. Nesse contexto, torna-se essencial adotar procedimentos que avaliem e validem a eficiência das intervenções realizadas, utilizando a situação atual como ponto de referência. Assim, avaliar o nível de mobilidade sustentável em uma região e compará-lo a outras localidades, ou mesmo com os resultados obtidos após as intervenções propostas, torna-se uma prática indispensável (Silva, Souza e Mendes, 2005).

No Brasil, o debate sobre a necessidade de estabelecer parâmetros de sustentabilidade no planejamento dos sistemas de mobilidade urbana tem ganhado força. A mobilidade urbana sustentável insere-se no contexto mais amplo do desenvolvimento sustentável, que busca equilibrar a satisfação das necessidades humanas com a preservação do meio ambiente. Assim como o desenvolvimento sustentável é abordado sob as dimensões econômica, social e ambiental, o mesmo princípio pode ser aplicado à mobilidade. Nesse sentido, os sistemas de mobilidade urbana sustentável devem ser fundamentados em três pilares: a proteção ambiental, a viabilidade econômica e a justiça social, garantindo que esses aspectos desempenhem papéis centrais no processo de planejamento.

A mobilidade urbana sustentável é um dos principais desafios enfrentados pelas cidades brasileiras. O crescimento acelerado da urbanização, aliado ao desenvolvimento social e econômico, tem impulsionado o aumento da motorização individual e da frota de veículos de carga. Esse modelo de mobilidade, centrado no transporte motorizado individual, revela-se insustentável, comprometendo tanto a proteção ambiental quanto a qualidade de vida da população (Brasil, 2023).

A resposta mais comum para enfrentar os congestionamentos tem sido a ampliação da capacidade viária. Contudo, como destaca Gehl (2013, p. 91): “À medida que mais carros tomaram as ruas, cada vez mais planejadores de tráfego concentraram-se em criar espaço para eles e para estacionamentos”, o que estimula o uso de automóveis e perpetua o ciclo vicioso de congestionamentos (Brasil, 2023).

Diante da necessidade de romper com esse padrão tradicional de mobilidade e de promover cidades mais humanas e sustentáveis, foi criada a Lei Federal nº 12.587 de 2012, que institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana. Essa lei estabelece princípios, diretrizes e instrumentos essenciais para o processo de transição para um modelo de mobilidade sustentável (Brasil, 2023). Entre os aspectos mais relevantes, destacam-se:

- Integração da Política Nacional de Mobilidade Urbana com políticas de desenvolvimento urbano, habitação, saneamento básico e gestão do uso do solo nos entes federativos.
- Prioridade para modos de transporte não motorizados e transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado.
- Integração entre diferentes modos e serviços de transporte urbano.
- Mitigação dos custos ambientais, sociais e econômicos dos deslocamentos urbanos.
- Incentivo ao uso de energias renováveis e tecnologias menos poluentes.
- Prioridade para projetos de transporte público estruturantes e promotores de desenvolvimento urbano integrado.
- Restrição e controle de acesso de veículos motorizados em horários e locais específicos.
- Tributação sobre modos de transporte urbano, com destinação da receita para transporte público e não motorizado, bem como para subsídios tarifários.
- Dedicção de espaços exclusivos nas vias para transporte público e modos não motorizados.
- Monitoramento e controle das emissões de gases poluentes, com possibilidade de restrição de veículos em áreas críticas.



#### 4.1 Caracterização do sistema viário local

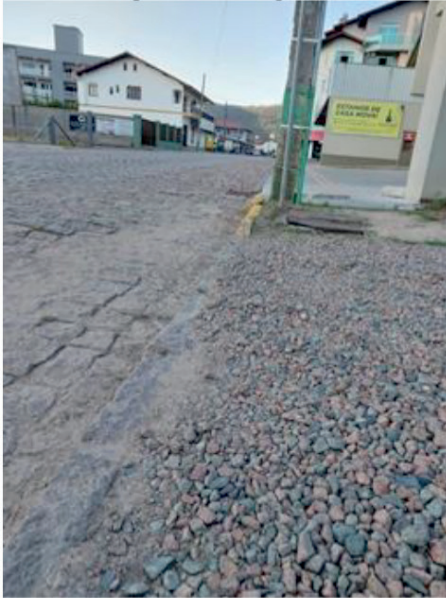
Presidente Getúlio é um município localizado no estado de Santa Catarina, na região Sul do Brasil. Integra a Região Geográfica Intermediária de Blumenau e a Região Geográfica Imediata de Ibirama - Presidente Getúlio. Está a aproximadamente 222 km da capital estadual, Florianópolis. De acordo com estimativas do IBGE, sua população em 2022 era de 20.010 habitantes.

Atualmente, diversas ruas no centro da cidade, como as ruas Hebert Zink, Cruzeiro, Otto Augusto Meuhlasen, Padre José Moacir e a Travessa Luiz Rigo (conforme ilustração na Figura 4), apresentam um estado de conservação precário. Conforme evidenciado na Figura 5, os problemas são variados, incluindo a ausência de calçadas, falhas no pavimento, falta de espaços adequados para ciclistas e cadeirantes, além de sinalização insuficiente ou inadequada. Parte dessas condições é atribuída aos danos causados pela enxurrada de 2020, que impactou severamente a infraestrutura da cidade.



Figura 4 - Ruas Cruzeiro, Padre José Moacir Moser, Hebert Zink e travessa Luiz Rigo que formam o sistema viário do centro da cidade de Presidente Getúlio/SC.

Fonte: elaborado pelo autor, (2023).



Ausência de calçadas



Não conformidades no pavimento

Figura 5 – Exemplos de inadequações do sistema viário no centro da cidade de Presidente Getúlio/SC.

Fonte: elaborado pelo autor, (2023).

## 4.2 Metodologia adotada para o desenvolvimento do conceito

Para priorizar a formação de um conjunto de soluções hierarquizáveis de forma metódica, adotou-se uma metodologia de desenvolvimento de conceito com alto grau de sistematização. Segundo Dos Santos (2024), essa abordagem favorece inovações disruptivas, agrega valor e reduz o tempo de desenvolvimento. O método, composto por cinco etapas, resulta na definição do conceito mais adequado, conforme ilustrado na Figura 6.

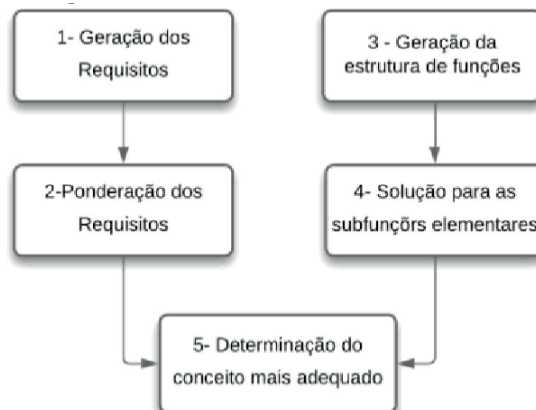


Figura 6 - Relação entre as etapas do método de desenvolvimento do conceito

Fonte: elaborado pelo autor, (2023).



A primeira etapa consiste em definir os requisitos do projeto, tarefa que, segundo Back (2013), pode ser realizada por meio de métodos variados, como reuniões com consultores e especialistas experientes em projetos similares. Em seguida, elabora-se a função global do projeto, uma descrição abstrata do objetivo principal, e sua divisão em subfunções, que representam problemas simplificados a serem resolvidos.

Na etapa seguinte, são geradas soluções alternativas para cada subfunção, incentivando a criatividade da equipe para explorar diversas fontes, como livros, projetos anteriores e manuais, visando obter propostas inovadoras. A combinação dessas soluções resulta em concepções de projeto que atendem às subfunções e ao objetivo global.

Por fim, as concepções são avaliadas em duas etapas: primeiro, verifica-se a viabilidade de cada solução, e, depois, aplica-se o método de Combinação Linear Ponderada (CLP) para ordenar as opções. A solução mais adequada será aquela com o maior valor do coeficiente de ordenamento, que considera os pesos dos requisitos e o grau de satisfação das concepções.

### **4.3 Modelagem e Avaliação qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local**

A penúltima etapa consiste na criação de um modelo digital da concepção considerada mais adequada na etapa anterior, utilizando o software InfraWorks. Desenvolvido pela Autodesk, o InfraWorks é amplamente empregado em projetos de infraestrutura por adotar a metodologia BIM na modelagem de projetos básicos.

Além disso, o software permite, por meio do módulo de simulação de tráfego, avaliar o impacto da solução proposta na circulação viária da região. Essa avaliação será conduzida como uma análise de sensibilidade, técnica que visa identificar como alterações em parâmetros específicos influenciam os resultados do modelo. No caso, será avaliada a situação viária considerando dois cenários: o atual e o urbanisticamente requalificado, permitindo verificar a robustez da solução e entender a variação no tráfego em resposta a mudanças nas condições urbanas.

## **5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Conceito mais adequado**

O desenvolvimento do conceito iniciou-se com a definição de requisitos. Para tal foram entrevistados dois especialistas. Com base em suas expertises, foram elencados e classificados os principais requisitos, conforme mostrado no Quadro 2.

Os requisitos foram classificados como “obrigatórios” ou “desejáveis”: os obrigatórios devem ser plenamente atendidos pelas soluções, enquanto os desejáveis podem ser parcialmente satisfeitos. Além disso, foi realizada a ponderação da importância de cada

requisito para aplicar o método de combinação linear ponderada no julgamento das concepções. Os requisitos considerados comparativamente mais significativos receberam pontuação +5, enquanto os requisitos considerados de igual e menor importância receberam pontuação +3 e +1, respectivamente. O somatório de tais pontuações permitiram a hierarquização dos requisitos.

Requisitos listados	Classificação	
Lixeiras em número e quantidade adequadas	Obrigatório	27
Sinalização vertical, horizontal e semaforica adequada	Obrigatório	35
Iluminação em LED	Desejável	31
Separação física entre pedestre/automóvel/bicicleta	Obrigatório	35
Paisagismo	Obrigatório	14
Acesso gratuito de internet banda larga	Desejável	10
Travessias segura de pedestres	Obrigatório	31
Rampas acessíveis	Obrigatório	31
Pavimento semipermeável	Obrigatório	37
Ciclofaixa	Obrigatório	29
Drenagem adequada	Obrigatório	36
Rede de transmissão elétrica subterrânea	Obrigatório	11
Calçada acessíveis	Obrigatório	28
Vagas de estacionamento sinalizadas (reserva para PNE, idosos e carga/descarga)	Obrigatório	26
Baixo custo	Desejável	4
Local para realização de eventos públicos	Desejável	6

Quadro 2 - Requisitos de projeto classificados em obrigatórios e desejáveis

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Outra etapa importante é a definição da função global e estrutura de subfunções do projeto (mostrada na imagem abaixo). Ela consiste em uma representação gráfica do processo de execução das atividades.

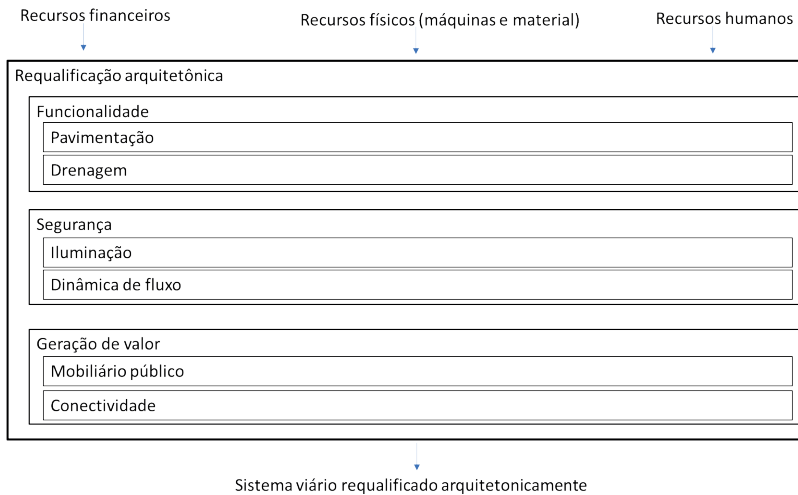


Figura 7 - Função global de projeto mostrando as relações de recursos e suas interações

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Fica claro pela observação da imagem que foram identificados três grandes subfunções (funcionalidade, segurança e geração de valor). A definição dessas grandes subfunções estão intimamente relacionadas com o aspecto sustentável do projeto. Outro aspecto que também não pode deixar de ser notado é que cada uma das grandes subfunções foi desdobrada em subfunções elementares. O conjunto dessa subfunções elementais é que compõem o nível mais básico de entendimento do projeto.

O passo seguinte foi encontrar soluções para cada uma das funções elementares. Essas soluções foram coletadas durante todo o trabalho por pesquisa em material publicado, análise de sistemas naturais, *benchmarking* e *brainstorming*. O Quadro 3 elenca as soluções para cada subfunção elementar.

Requalificação arquitetônica	
1	Funcionalidade
1.1	Pavimentação
	<p>Concreto permeável</p> 

Bloco de concreto intertravado (retangular)



Bloco de concreto intertravado (quadrado)



1.2

Drenagem

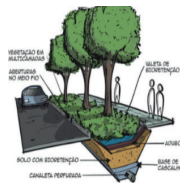
Boca de loge na guia



Boca de lobo com grade



Jardim de chuva



2.

Segurança

2.1

Iluminação

Iluminação em Led (transmissão elétrica subterrânea)



Iluminação em Led (geração com energia solar)

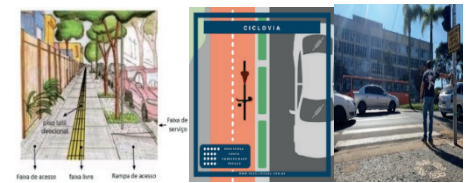


2.2 Dinâmica de fluxo

Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia em mesmo nível; separação com baliza.



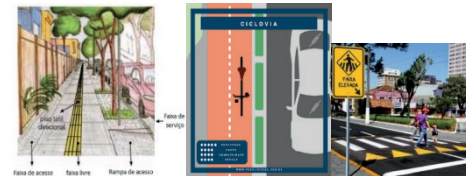
Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia em mesmo nível; separação com canteiro.



Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia elevada; separação com baliza.



Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia elevada; separação com canteiro.



3 Geração de valor

3.1 Mobiliário público

Bancos, jardins e cobertura parcial



Bancos, jardins e cobertura total (conceito rua coberta)



3.2	Conectividade
Poste de internet pública	
	

Quadro 3 - Soluções elencadas para cada subfunção

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Por fim, com todas as soluções listadas, iniciou-se o processo de definição da concepção mais adequada. Esse processo começou com uma análise de viabilidade do tipo “passa ou não passa”, que avaliou cada solução com base nos requisitos obrigatórios. Nessa etapa, todas as alternativas foram consideradas viáveis.

Em seguida, aplicou-se o método da “Combinação Linear Ponderada” (CLP), utilizado para ordenar as soluções por meio de um coeficiente, representado pela letra “I”. Esse coeficiente é calculado como o somatório do produto entre o peso relativo de cada requisito ( $P_i$ ) e o grau de satisfação da solução em relação a esse requisito ( $S_i$ ). O conjunto das soluções consideradas mais adequadas é mostrado no Quadro 4.

#	Requalificação arquitetônica
1	Funcionalidade
1.1	Pavimentação: Bloco de concreto intertravado (retangular)
1.2	Drenagem: Boca de lobo na guia e Boca de lobo com grade
2.	Segurança
2.1	Iluminação: LED com geração por energia solar
2.2	Dinâmica de fluxo: Calçada sustentável (separação entre faixa de acesso, faixa de serviço, rampa, piso tátil); travessia elevada; separação com canteiro.
3	Geração de valor
3.1	Mobiliário público: Bancos, jardins e cobertura parcial
3.2	Conectividade: Poste de internet pública

Quadro 4 - Soluções escolhidas

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

## 5.2 Modelagem

Uma etapa fundamental foi a modelagem tridimensional do conceito. Ele foi feito com base em um levantamento aerofotogramétrico e dados geométricos obtidos junto a prefeitura municipal. A importação do modelo digital de superfície e da ortofoto para o software InfraWorks foi o primeiro passo para a construção do modelo digital. A dimensões

e configuração das seções transversais de cada via são mostrados no quadro 5. Nela fica clara a abordagem baseado no conceito de mobilidade sustentável que permeou o conceito.

**Seção requalificada da Travessa Luiz Rigo trecho 01**

Levando em conta que a via é de mão única e possui uma seção bastante espaçosa, foi proposto a diminuição da faixa de rolamento e a retirada de uma faixa de estacionamento, para gerar mais conforto a ciclistas e pedestres. Como forma de separação de fluxos foi proposta uma faixa verde entre a ciclovia e acostamento, onde pode-se arborizar a fim gerar conforto térmico a população. Também há a possibilidade de se aproveitar canteiros de travessia para implantar estacionamento de bicicletas ou até colocação de bancos públicos com cobertura para a população com acesso à internet.



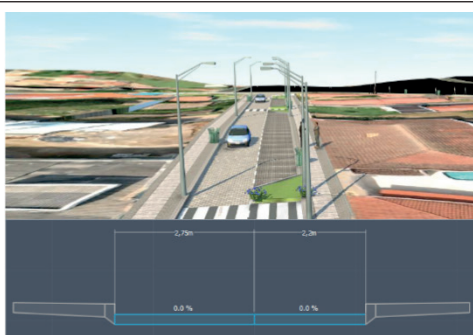
**Seção requalificada da Travessa Luiz Rigo trecho 02**

O trecho 02 da Travessa Luiz Rigo possui 1 m a menos que o trecho 01, pensando nisso foi mantido a mesma seção da faixa de rolamento e ciclovia do trecho 01 com a diferença de que o passeio esquerdo ficou com 2,25 m e o passeio direito com 2 m.



**Seção requalificada da rua Cruzeiro Trecho 01**

A Rua Cruzeiro possui atualmente uma via de 7 metros de largura de sentido único que inclui uma faixa de estacionamento e passeios de 1m de cada lado. A fim de gerar maior conforto e mobilidade aos pedestres foi proposto aumentar as calçadas para 1,85 m cada lado, ficando uma faixa de rolamento de 2,75 m, um estacionamento de 2,2 m e canteiros para travessia de pedestres.



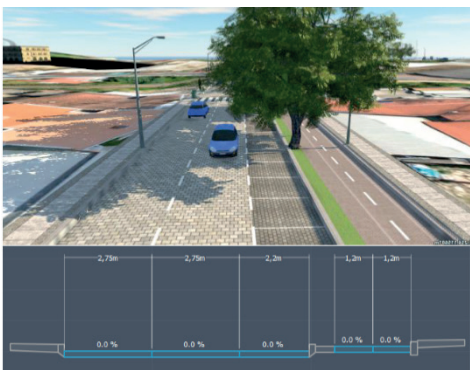
### Seção requalificada da rua Cruzeiro Trecho 02

Já o trecho 02 da Rua Cruzeiro possui meio metro a mais para cada passeio, o que permitiu criar passeios de 2,2 m do lado esquerdo e 1,8 m do lado direito mais a inclusão de uma faixa verde para separação de fluxos, onde pode arborizar.



### Seção requalificada da rua Hebert Zink

Considerando o espaço disponível, foi proposto a diminuição da faixa de rolamento para incluir um espaço para o tráfego de ciclistas. Como forma de separação de fluxos foi proposta uma faixa verde entre a ciclovia e acostamento, onde pode-se arborizar a fim gerar conforto térmico a população, e aproveitar canteiros de travessia para implantar estacionamento de bicicletas ou até colocação de bancos públicos para a população com acesso a internet.



### Seção requalificada da rua Padre José Moacir Moser

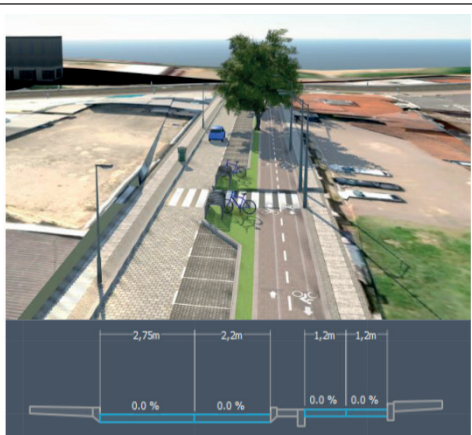
Para poder tornar a via mais confortável e convidativa a pedestres foi proposto a diminuição da faixa de rolamento para aumentar os passeios e adicionar uma faixa arborizada. Também foi sugerido a implantação de canteiros para travessias de pedestres na qual podem abrigar bancos públicos.





### Seção requalificada da Travessa Luiz Rigo

Considerando o espaço disponível, foi proposto a diminuição da faixa de rolamento para incluir um espaço para o tráfego de ciclistas. Como forma de separação de fluxos foi proposta uma faixa verde entre a ciclovia e acostamento, onde pode-se arborizar a fim gerar conforto térmico a população, e aproveitar canteiros de travessia para implantar estacionamento de bicicletas ou até colocação de bancos públicos para a população.



Quadro 5 - Seção requalificada dos trechos que compõem o sistema viário

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

### Avaliação qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local

A análise de sensibilidade dos impactos das intervenções sobre tráfego local foi viabilizada por meio do modelo digital elaborado no software InfraWorks. Reconhecido por sua aplicação em projetos conceituais de infraestrutura, o software oferece ferramentas robustas de simulação de tráfego, que permitem antecipar problemas potenciais e orientar a escolha da solução mais adequada para o projeto.

O estudo foi desenvolvido com base em dois cenários distintos: o cenário 1, correspondente à configuração atual das vias, e o cenário 2, que representa o modelo requalificado. Já para caracterizar a demanda de tráfego foram utilizados um cenários, caracterizado pela mesma matriz origem/destino e pontos de controle. O resultado da avaliação do impacto sobre o tráfego local é ilustrado na Figura 8.



Cenário 1: Sistema viário antes das intervenções



Cenário 2: Sistema viário após as intervenções

Figura 8 - Análise qualitativa do impacto das intervenções sobre o tráfego local

Fonte: Elaborado pelo autor, (2023)

Analisando visualmente, no qual os blocos vermelhos indicam retenção, pode-se observar que não houve alteração do nos resultados obtidos para os dois cenários, esse resultado pode se justificar pela não alteração do sentido e quantidade de vias para os dois cenários. Na prática houve apenas um reordenamento e qualificação do espaço público.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo sistemático de elaboração de um conceito de requalificação arquitetônica, fundamentado na definição de requisitos específicos, possibilitou a criação de soluções inovadoras e altamente eficientes. Essas soluções, organizadas em um banco de dados, podem ser aplicadas não apenas neste projeto, mas também em outras iniciativas, ampliando seu impacto.

A integração de tecnologias baseadas em BIM (Building Information Modeling) foi fundamental, pois permitiu uma visualização aprimorada e uma análise detalhada do modelo proposto. Essa abordagem facilitou a criação de diferentes cenários, o que foi crucial, especialmente para a avaliação do impacto no tráfego.

Ao comparar as medidas atuais das vias com as recomendações de um planejamento mais moderno, observou-se que a redução das faixas destinadas aos veículos possibilitou a inclusão de ciclovias, ampliação dos passeios e a criação de áreas verdes, promovendo uma melhoria significativa na mobilidade urbana. Essas mudanças não só incentivam a permanência das pessoas em espaços públicos, mas também contribuem para uma melhor qualidade de vida.

Nesse contexto, a simulação de tráfego realizada validou a hipótese de que essas vias podem, sim, acomodar espaços de convivência pública, ciclovias e passeios mais largos. Os resultados mostraram que, mesmo com as intervenções, o fluxo de tráfego se manteve estável, reforçando a viabilidade das propostas para a requalificação urbana.

Este trabalho contribui para o campo da engenharia urbana ao propor soluções replicáveis e de baixo impacto ambiental, alinhadas com as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. A experiência de Presidente Getúlio destaca o potencial transformador de intervenções urbanísticas bem planejadas, criando cidades mais seguras, sustentáveis e voltadas para as pessoas.

## REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, Sergio Luiz. **Espaço Público**: do Urbano ao Político. São Paulo: Annablume, 2008.

ANTP. **O “não transporte” pode ser a solução para a mobilidade das médias e grandes cidades**. 2017. Disponível em: <http://antp.org.br/noticias/ponto-de-vista/o-nao-transporte-pode-ser-a-solucao-para-a-mobilidade-das-medias-e-grandes-cidades.html>. Acesso em: 23 maio 2023.

ARANTES, Otilia B. Fiori. **Urbanismo em fim de linha e outros estudos sobre os colapso da modernização arquitetônica**. São Paulo: Edusp, 1998.

BACK, Nelson et al. **Projeto Integrado de Produtos**: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manoele, 2008

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (org.). **Mobilidade Sustentável**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/mobilidade-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 05 jun. 2023.

COMISSÃO EUROPEIA DE MOBILIDADE E TRANSPORTE (Europa) (org.). **Desperdícios estruturais gerados pelo automóvel**. 2023. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/estatisticas/72/desperdicios-estruturais-gerados-pelo-automovel.html>. Acesso em: 23 maio 2023.

DOS SANTOS, Rafael Pacheco; VISINTAINER, Michael Renê Mix; DOS SANTOS, Eduardo Muller. Metodologia de projeto adaptada aplicada à projetos urbanísticos: Vantagens e Limitações. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 20, 2024.

GEHL, Jan. **Cidades Para Pessoas**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. 3. ed. São Paulo: WMF, 2011.

LEITOLES, Maicon Lincon. **PERMANÊNCIAS E TRANSFORMAÇÕES NO ESPAÇO PÚBLICO O CASO DA RUA XV DE NOVEMBRO EM CURITIBA**. 2016. 183 f. Pós Graduação - Curso de Pós Graduação em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade, Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade, Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/178299>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MAROPO, Vivianne Lisbethe Bezerra *et al.* Mobilidade nos centros urbanos: estudo para implantar ruas completas no centro de João Pessoa, Paraíba, Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 12, jan. 2020.

MENDONÇA, Ana Luiza Cavalcanti. **Caminhar como mobilidade urbana: políticas, práticas e dinâmicas urbanas em Maceió, Alagoas**. 2021. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/8817>. Acesso em: 23 maio 2023.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013

SILVA, Antônio Néelson Rodrigues da; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; MENDES, José Fernando Gomes. **Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: desenvolvimentos recentes no Brasil e em Portugal**. São Carlos: Eesc/USP, 2005. 1 v. Disponível em: [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4613/1/Ramos\\_CLN\\_1\\_2005.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4613/1/Ramos_CLN_1_2005.pdf). Acesso em: 08 nov. 2023.

## AN API MANAGEMENT SOFTWARE QUALITY METAMODEL BASED ON SQUARE AND GQM

---

*Data de submissão: 03/03/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Eder dos Santos**

Instituto de Tecnología Aplicada,  
Universidad Nacional de la Patagonia  
Austral, Argentina  
CIT Santa Cruz, CONICET, Argentina

### **Sandra Casas**

Instituto de Tecnología Aplicada,  
Universidad Nacional de la Patagonia  
Austral, Argentina  
CIT Santa Cruz, CONICET, Argentina

**ABSTRACT:** With the widespread adoption of API in modern software ecosystems, the need for robust API management practices has become increasingly apparent. However, challenges persist in establishing a comprehensive framework for software product quality. To address this, this work introduces API-MQM, a tailored metamodel that leverages the ISO/IEC 25010 standard as a reference framework and employs the Goal-Question-Metric (GQM) paradigm. The design method adhered to Model-Driven Architecture (MDA) principles and emphasized the identification of API management capabilities as core quality requirements. To validate the proposal, both theoretical and empirical methods were

conducted. The findings underscore the novelty and consistency of the proposed approach and outline directions for future research in the field.

**KEYWORDS:** API Management, Quality metamodel, Quality model, Software Engineering, Software Quality

## 1 | INTRODUCTION

In recent years, the distribution models for information systems have shifted towards Everything as a Service (XaaS) [1] paradigms, where organizations provide their digital assets to customers as services [2]. These services are commonly supported by APIs that adhere to REST (Representational State Transfer) principles [3]. As a result, APIs have experienced significant global proliferation. According to the Postman annual survey [4], 1.29 billion API requests were generated in 2023 by more than 25 million users worldwide.

The emergence of the API Economy scenario has placed additional pressure on developing, deploying, and maintaining information systems. Since APIs have

become a critical component [5], organizations need to proactively address the risks of failure by enhancing their API management capabilities [6] [7]. This involves the effective management of their APIs through specialized software products, commonly referred to as API Management Platforms.

API Management Platforms offer fundamental functionalities to create, analyze, and manage APIs in a secure and scalable ecosystem, serving as the core of digital integration strategies. These platforms are equipped with features such as API access control, comprehensive documentation, and monitoring and usage analytics. As a result, they streamline API management processes [7] [8] [9].

API management activities present numerous challenges within both internal [6] [10] and decentralized [11] software ecosystems. To address these challenges, many software quality models define a set of quality attributes or characteristics, establishing the groundwork for evaluating the quality of software elements. This evaluation is pivotal in providing actionable solutions that can be readily embraced by industry professionals to enhance the quality of software ecosystems. From a metamodel-driven standpoint, models are developed based on metamodels.

To our knowledge, despite the proliferation of software quality metamodels in current literature, a notable gap exists in the exploration of API management software quality metamodels. This void motivated the development of this work. We propose an API management-specific software quality metamodel designed to address quality evaluation from conceptual, operational, and quantitative perspectives. Grounded in the ISO 25000 standards series (particularly the ISO/IEC 25010:2023, ISO/IEC 25023:2016, and ISO/IEC 25040:2011 standards [12] [13] [14]), our metamodel provides a structured framework for defining quality characteristics. To facilitate the specification of measures, we also employ the Goal-Question-Metric (GQM) [15] approach. Additionally, the proposed metamodel encompasses API management capabilities, thereby organizing API management activities within a cohesive framework.

This paper is structured as follows. In section 2, we discuss the frameworks we adopted and provide a brief overview of the metamodel design along with its associated challenges. Section 3 then introduces a three-step methodology for constructing a general software quality metamodel, based on the principles of Model Driven Architecture and concept factoring. In section 4, we present the designed metamodel and provide a comprehensive breakdown of the findings. Section 5 details both the theoretical and empirical validation of the metamodel. Finally, in section 6, we offer a succinct discussion that analyzes the proposed metamodel from different perspectives and provides insights into future research.

## 2 | RELATED WORK

### 2.1 The ISO 25000 standards series

As APIs are used across an increasingly wide range of application areas, the development or selection of high-quality API management software products becomes paramount. Therefore, thorough specification, measurement, and evaluation are pivotal to ensure adequate quality.

The SQuARE series is structured into several divisions. Within the scope of this paper, the relevant divisions are outlined as follows:

- The Quality Model Division (2501n) provides models for system and software product quality, quality in use, and data quality. The general software product quality model [12] encompasses nine primary quality characteristics, namely: functional suitability, performance efficiency, compatibility, interaction capability, reliability, security, maintainability, flexibility, and safety.
- The Quality Measurement Division (2502n) includes a system and software product quality measurement reference model, definitions of quality measures, and practical guidance for their implementation. The framework for quality measurement is illustrated in [13].
- The Quality Evaluation Division (2504n) offers requirements, recommendations, and guidelines for system and software product evaluation. An overview of the evaluation process is presented in [14].

### 2.2 The GQM approach

Quality definition, measurement, and evaluation must be accurate and meaningful to provide valuable insights according to the needs of users and organizations. In this context, the Goal Question Metric (GQM) paradigm [15] is widely used for defining metrics. GQM enables the identification of relevant data collection criteria and the establishment of interpretive mechanisms, creating a goal-oriented framework for software measurement.

The GQM approach operates at three hierarchical levels: conceptual (goals), operational (questions), and quantitative (metrics). Goals define the focus of the research endeavor and the reason for its study. Questions characterize specific aspects of the measurement object with respect to a selected quality concern. Metrics comprise a collection of measurements that can be used to address the formulated questions, drawn from both subjective and objective collected data.

## 2.3 API management capabilities

Based on recent literature, API Management quality requirements are delineated and distilled primarily as practices and capabilities [7] [8] [16]. Practices are defined as any activities explicitly aimed at improving, fostering, and overseeing API usage, while capabilities are defined as the capacity to accomplish specific goals related to API Management by executing two or more interconnected practices.

API management capabilities are categorized across diverse schemes. For instance, the classification proposed by [7] includes the following capability groupings: i. Developer Enablement for APIs (API Discovery, Developer and App Onboarding, Collaboration and Community, Developer Enablement Administration); ii. Secure, Reliable and Flexible Communications (Authentication and Authorization, Threat Detection, Data Privacy, Traffic Management, Interface Translation, Service Orchestration and routing); iii. API Life cycle Management (API Publication, Version Management, Change Notification, Issue Management); iv. API Auditing, Logging and Analytics (Activity Logging, User Auditing, Business Value Reporting, Contract Management, Advanced Analytics, Service-Level Monitoring).

Recent research has focused on characterizing quality aspects related to API management capabilities and activities as quality requirements, using the ISO/IEC 25010 standard series as a reference model. From the practitioners' perspective, functional suitability, security, reliability, and performance efficiency are critical factors that align closely with user needs and the intended functionality of API management platforms [17]. It was also identified in the scientific current research [18].

## 2.4 Software quality metamodels

To establish a comprehensive quality model, several authors recommend overcoming ambiguity and completeness issues by defining a formal quality metamodel. As suggested by [19], a quality metamodel can be described as a flexible and user-friendly collection of constructs and rules designed to facilitate the construction of quality models on a formal basis. The overarching goal is to foster a shared understanding for effective evaluation and management of software quality across the entire lifecycle of a software product [20].

Metamodels serve as representation schemes at a conceptual level, often depicted through diagrams that encompass entities and their relationships. Software quality metamodels commonly feature entities pertinent to the definition, measurement and evaluation of quality such as 'quality attribute', 'quality characteristic', 'measure', and 'metric', among others.

From a metamodel-driven perspective, the initial step involves developing a metamodel to establish the concept, scope, and vocabulary, providing a static holistic



view of a domain. Subsequently, a quality model is formulated, delineating a set of quality characteristics as instances of the elaborated metamodel [21]. Furthermore, numerous researchers have introduced metamodels grounded in existing quality models [20].

From another perspective, software quality models and metamodels can be classified based on their purpose as either basic or tailored [20]. Basic models, such as [12], have a hierarchical structure adaptable to various types of software products and focus on evaluation and improvement. Tailored models, on the other hand, are specific to particular domains or applications, where the importance of features may vary compared to a general model. According to a systematic review conducted by [20], tailored models are often derived from basic models, involving the addition or modification of sub-factors to meet the specific needs of specialized domains or applications.

Specifically in the field of API management software quality, the systematic mapping study by [18] highlights that more than half of the research does not explicitly utilize formal models. However, it also underscores that common meta-model elements, such as features and metrics, are widely employed across these studies. These findings emphasize the need for the proposed metamodel in this paper, which aims to establish a common framework to enable more formal and cohesive research in the field.

### 3 | METHODS

Drawing upon principles from model-driven architecture, we have developed a structured four-step approach aimed at creating a unified metamodel named API-MQM (API Management Quality Metamodel). In this section, we detail each step of this approach, elucidating its complexities and nuances.

#### *Step 1 – Design Questions and Preliminary Analysis*

The initial phase involved conducting a preliminary analysis by reviewing a representative collection of existing software quality metamodels. To achieve this objective, we updated the dataset provided by [20] to include API-related metamodels. This approach followed the systematic search protocol outlined in guidelines such as [22, 23, 24]. Subsequently, we classified the updated data based on relevant criteria.

This exploration aimed to address a series of key design questions (DQs), with the primary objective of providing guidance for either adopting an existing metamodel or developing a new one. The DQs are outlined as follows:

#### **DQ 1: Which software quality metamodels address APIs in general and API management in particular?**

This DQ aims to identify existing metamodels that specifically address the quality attributes of APIs and API management. Understanding which metamodels are used helps in assessing the current landscape and determining whether these metamodels sufficiently

cover the particular aspects of API quality. This can highlight gaps in the existing literature and establish a baseline for developing a more comprehensive metamodel tailored to both APIs and API management.

### **DQ 2: What are the most common elements in software quality metamodels?**

By identifying the most common elements across various software quality metamodels, this DQ seeks to uncover the fundamental components and attributes that are widely recognized as critical for evaluating software quality. This information is crucial for ensuring that the proposed metamodel includes relevant and widely accepted elements, thus enhancing its applicability and effectiveness.

### **DQ 3: Which software quality models are used as a reference for each metamodel?**

This DQ explores the foundational quality models that influence the development of various metamodels. Understanding which models are referenced helps to identify the theoretical underpinnings and best practices that shape these metamodels. It provides insight into how well-established quality principles are integrated into the metamodels and whether they align with current standards and practices in software quality characterization and measurement.

### **DQ 4: What frameworks are employed as references for evaluation in the metamodels analyzed in the study?**

This DQ focuses on the frameworks used for evaluating software quality evaluation. By examining the frameworks referenced for evaluation, the study aims to understand the criteria and methodologies applied to assess software quality. This helps in evaluating the robustness of existing frameworks and identifying potential improvements or alternative approaches that could be adopted in the proposed metamodel.

#### *Step 2 – PIM Construction and Concept Factoring*

To address this step, the guidelines outlined by [19] were followed to ensure clarity, coherence, and consistency in capturing key concepts, while avoiding ambiguity and resolving potential contradictions. The approach to constructing the general Platform-Independent Model (PIM) involved several key steps. Firstly, we identified the most common elements drawn from the data gathered in DQ2 findings. Subsequently, we analyzed the most frequently referenced model in the literature (from DQ3 data) and the prevailing evaluation method (from DQ4 data), conducting an in-depth analysis of their elements and their relationship with the elements found in DQ2. Finally, to achieve a tailored metamodel, we integrated API management capabilities as a factored concept.

#### *Step 3 – Building the Metamodel*

The metamodel was constructed using the Unified Modeling Language (UML), since it defines a standardized framework for designing elements and specifying relationships between them.

#### *Step 4 – Metamodel validation*

As highlighted by [24] [25], metamodels can be validated through both theoretical and empirical methods. In the quality metamodel proposed in this work, the focus is on API management capabilities, where quality characteristics are evaluated. These characteristics are assessed using specific metrics, which are designed to address questions aligned with the overall goals. This process is further facilitated by tools that automate the measurement and evaluation procedures. To validate this proposal, three validation methods were conducted.

From the theoretical perspective, it is noteworthy that many design challenges (DC) are usually faced while creating metamodels [26]. These challenges often represent a series of significant design and scope limitations. As this paper presents a design proposal, a construct validation was conducted in light of these challenges, aiming at validating the designed metamodel and identifying weaknesses and research opportunities.

To substantiate the feasibility and effectiveness of the proposed metamodel, two empirical validation methods were conducted, namely analysis [24] and example [24]. First, a comprehensive literature mapping and comparative analysis of existing metamodels was performed, juxtaposing them with the developed metamodel in this study. This analysis focused particularly on examining the metamodel elements and their application in existing literature. Finally, to assess the practical applicability of the proposed approach, an instance of the metamodel is presented.

## **4 | RESULTS**

We identified and classified a total of 29 software quality metamodels. Of these, 28 studies were retrieved from [20]. An additional study [21] was discovered during the execution of the proposed search protocol across major global databases, including IEEEExplore, SpringerLink, ACM Digital Library, and ScienceDirect. These metamodels were systematically classified to provide insights into the DQs as outlined below.

### **4.1 Design Questions**

#### **DQ 1: Which metamodels address API in general and API management in particular?**

Findings indicate that while one metamodel addresses APIs in a general context, none specifically focus on API management. Additionally, we observed that six metamodels include considerations for API-related technologies, specifically webservice and

microservices. Based on these findings, we proceeded to address the remaining design questions. Findings are outlined as follows.

### DQ 2: What are the most common elements in software quality metamodels?

14 categories of metamodel elements were identified. Four of them encompass aggregated entities, following the UML aggregation concept. Table 1 showcases the five most prevalent metamodel elements. The “Metamodel Element” column lists the different elements within the metamodel. Alternative terms or synonyms for each metamodel element are provided for flexibility and clarity. The “Aggregated Elements” column indicates related elements or subcategories grouped under each metamodel element. Finally, the “Frequency” column indicates the prevalence of each element, denoted by the number of metamodels referencing it.

Metamodel Element	Most common synonyms	Aggregate elements	Frequency
Quality Attribute	Characteristic / Feature / Factor	Subcharacteristic	28
Metric	Measure	Base Metric / Derived Metric	24
Entity	Component / Artifact	- - -	19
Evaluation	Assessment	Formula / Rule	15
Measurement	Measurement Method / Approach	Result / Value	14

Table 1. Common elements of software quality metamodels.

### DQ 3: Which software quality models are taken as reference for the metamodel?

To address this question, we processed the available data, recognizing that it was not normalized. The absence of normalization stemmed from the presence of numerous metamodels that referenced more than one quality model. Table 2 presents the five most frequently cited models.

Within the examined studies, it’s significant to note that both ISO/IEC 9126 and its successor, the ISO/IEC 25000 series, were both referenced in three studies. This indicates that a total of 21 studies (72.41%) utilized both series as reference models.

Reference Model	Metamodels	% of total
ISO/IEC 9126	16	55.17%
Boehm	9	31.03%
McCall	8	27.59%
ISO/IEC 25010	8	27.59%
Dromey	6	20.69%

Table 2. Quality models in metamodels.

## DQ 4: What methods/techniques are used as reference for evaluation in the metamodel?

Table 3 reveals that nearly half of the studies did not utilize any formal evaluation framework. However, among the works that explicitly incorporated evaluation methods, 80% (12 out of 15) opted for the GQM approach [15].

Evaluation Method	Metamodels	% of total
Not specified	14	48.28%
GQM	11	37.93%
FCM	2	6.90%
SQUID	1	3.45%
GQM and FCM	1	3.45%

Table 3. Reference evaluation methods.

## 4.2 Building the Metamodel

To build the metamodel, we integrated the factored concepts derived from DQ2 common elements, following the standards outlined in ISO/IEC SQuaRE, and drew upon GQM definitions, which serve as prevalent quality models and evaluation methodologies. To tailor the metamodel to the specific context of API management, we introduced API management capabilities as a factored concept. Furthermore, we extended the initial framework to encompass considerations for the development and adoption of tools as a factored concept, as such tools are designed to retrieve measured data.

To provide clarity and transparency regarding the origins and definitions of the entities comprising the API-MQM metamodel, Table 4 showcases API-MQM elements represented as Entities, along with their corresponding sources in the literature.

API/MQM Entity	Source
API Management Capability	[7] [8] [16]
Characteristic	[12]
Goal	[15]
Question	[15]
Metric	[13] [15]
Measurement Method	[13]
Tool	[14]

Table 4. API/MQM Entities.

The selected concepts have been incorporated into the designed metamodel, as depicted in Figure 1. This metamodel organizes the concepts into three distinct packages that are interconnected, as outlined below. Within the Package Domain, we encapsulated

concepts related to API management capabilities and the conceptual perspective of [15] (Goals). It is noteworthy that API management capabilities serve as the foundation for instantiating quality requirements within the metamodel. Package System contains concepts related to software product quality and the GQM operational and quantitative levels. It is noteworthy that Metric is a factored concept from both [13] (Measure) and [15] (Metric). The Package System encompasses concepts pertaining to software product quality and operates at both the operational and quantitative levels of [15]. Notably, the concept of Metric is derived from both [13] (referred to as Measure) and [15] (referred to as Metric). Package Development refers to the amalgamation of measurement methods and the utilization of both adopted and custom-developed tools for measurement purposes.

## 5 | VALIDATION

### 5.1 Theoretical Validation

Next, a synthesis of the DC were addressed in the approach of this work.

DC1 – Terminology inconsistencies: To address this challenge, we established a theoretical foundation, drawing upon established works such as This challenge was addressed by adopting a theoretical ground [7] [12] [15] [20] to avoid terminology inconsistencies. We also adopted the most common elements used in a set of 29 software quality metamodels.

DC2 – Partial definition: In pursuit of our study's objective to offer a thorough analysis of quality definition and measurement, the proposed metamodel deliberately omitted guidelines for evaluation and decision criteria. Other elements were also omitted due to addressing challenges DC3 and DC6.

DC3 – Lack of focus: To address this challenge, our approach focused on limiting the scope of stakeholders and other levels of abstraction, especially concerning aggregated entities such as base metrics and derived metrics, among others. While our coverage may be limited in this regard, we ensured the implementation of the most common elements. However, it's important to note that this issue was further investigated and elaborated upon in the empirical validation phase of our study.

DC4 – Disregard for process quality: Although the designed metamodel covers the development and adoption of tools to measure quality, it is important to clarify that this paper does not delve into the specifics of adopting or developing products in a manner that it assures a desired quality level.

DC5 – Lack of integration with current practices: This work did not delve into providing solutions for this particular challenge, as it falls outside the scope of our study.

DC6 – Lack of simplification and validation: To address this concern, all conceptual redundancies were meticulously eliminated. Then, an analysis of design challenges was performed to serve as a theoretical validation, complemented by a comprehensive literature mapping for empirical validation. Additionally, we offered recommendations

for future validation methods to further strengthen our findings.

DC7 – Interdependencies and measure interpretations not clear: Despite resolving interdependencies through the design methodology outlined in this paper, the proposed metamodel lacks to provide guidance on interpreting measurement results.

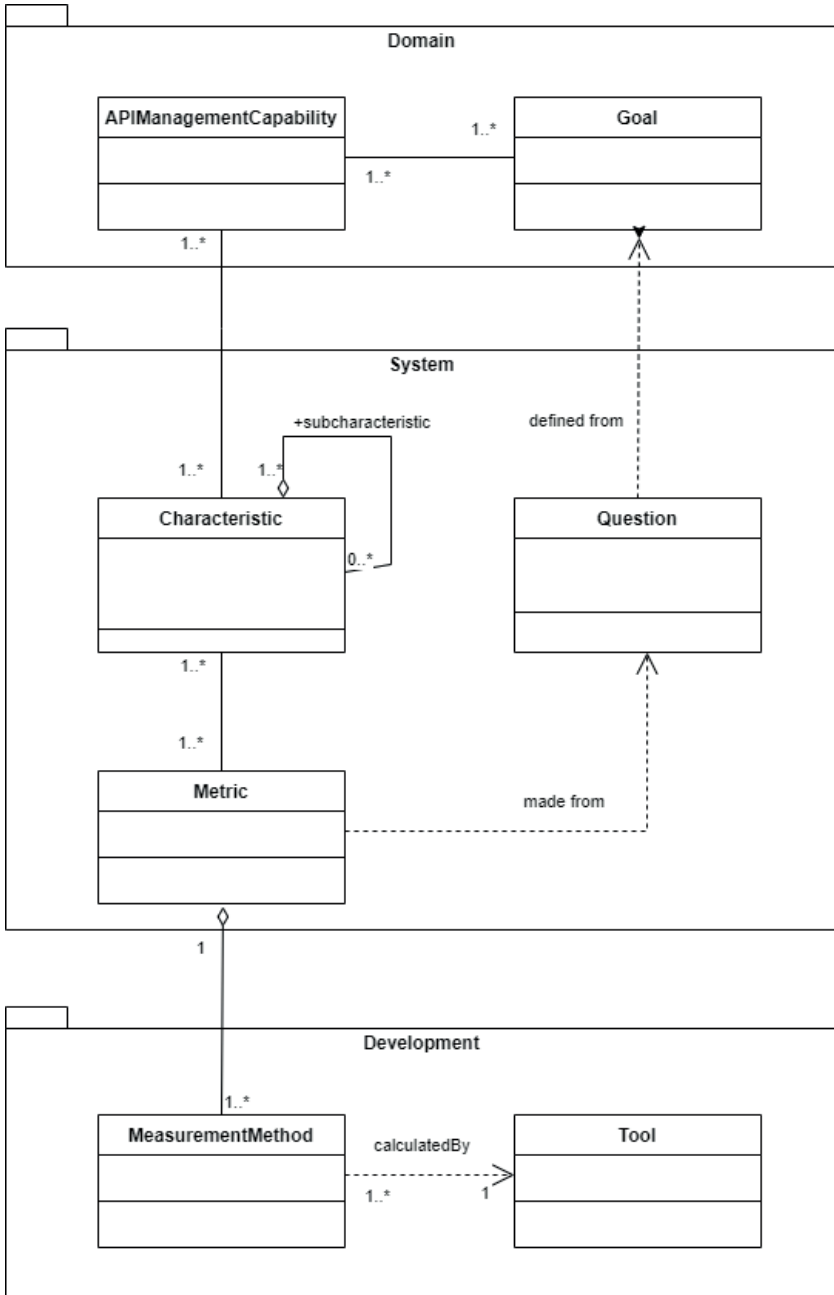


Figure 1: API-MQM Quality Metamodel for API Management UML representation

DC8 – Lack of tool support: The developed meta-model includes entities that refer to implemented or custom-made tools for automating the measurement process within API Management platforms.

DC9 – Lack of guidelines for improvements: To address this challenge, a series of future work was provided in this paper.

## 5.2 Empirical validation

A comparative analysis is summarized in Tables 5 and 6.

Upon initial examination, Table 5 presents a comprehensive overview of the entities defined in API-MQM, along with their corresponding equivalents within existing software quality metamodels. It also includes the frequency of occurrence of each element and its alternative names. Noteworthy is the alignment between the elements proposed in API-MQM and those commonly identified in software quality metamodels.

API-MQM Entity	Equivalent Common Element	Frequency
API Management Capability	Quality Requirement	3 (10.34%)
Characteristic	Quality attribute	28 (96.55%)
Goal	Quality goal	8 (27.59%)
Question	Quality aspect	12 (41.38%)
Metric	Metric	24 (82.76%)
Measurement Method	Measurement	14 (48.28%)
Tool	Instrument	5 (13.79%)

Table 5. Frequency of API-MQM entities within software quality metamodels.

On the other hand, table 6 highlights common metamodel elements absent from the API-MQM metamodel. Specifically, categories such as “Entity”, “Unit”, “View”, “Scale”, and “Quality Model” were omitted due to challenge C6, particularly stemming from the need for simplification. Additionally, elements related to “Evaluation” and “Data Analysis” were excluded, as the primary focus of this work lies in the introduction of a metamodel aimed at guiding the definition and measurement of quality elements.

Element	Most common synonyms
Entity	Component, Artifact
Evaluation	Assessment model
Quality model	- - -
Unit	Measurement unit
Data analysis	Analysis model, Decision criteria
View	Viewpoint, Stakeholder
Scale	Measurement scale

Table 6. Elements not addressed within API-MQM.



Additionally, an instance of the proposed metamodel is introduced as shown in Figure 2. This instance can be summarized as follows: Within the Domain package, the Service-Level Monitoring capability [7] is selected as the target API management feature, with Latency Tracking defined as the conceptual perspective (Goal) [15] This goal is further described as “tracking network performance of the API management software to ensure efficient data transmission”. In the System package, Time Behavior is chosen as a sub-characteristic of Performance Efficiency, in accordance with [12]. From an operational perspective, the objective is to define the method for measuring processing latency, addressing the question: “How is processing latency measured?”

From the obtained question, a metric was defined: Latency RTT, which stands for Latency Round Trip Time. Round Trip Time (RTT) is the duration it takes for a data packet to travel from the source to the destination and back again to the source. This metric provides a precise measurement of the network latency experienced during API requests, reflecting the efficiency of data transmission in the API management software. This metric allows for the definition of the evaluation function for the “Time Behavior” quality characteristic. The evaluation function is derived by calculating the average latency from a given set of  $n$  concurrent API requests, providing a comprehensive measure of the system’s performance efficiency. Therefore, the evaluation function  $F$  is defined by Eq (1). Finally, the Orama Framework, which is instantiated as a Tool object in this work, is introduced as “a support tool for evaluating Function-as-a-Service-oriented environments” by [27].

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{LR_i}{n} \quad (1)$$

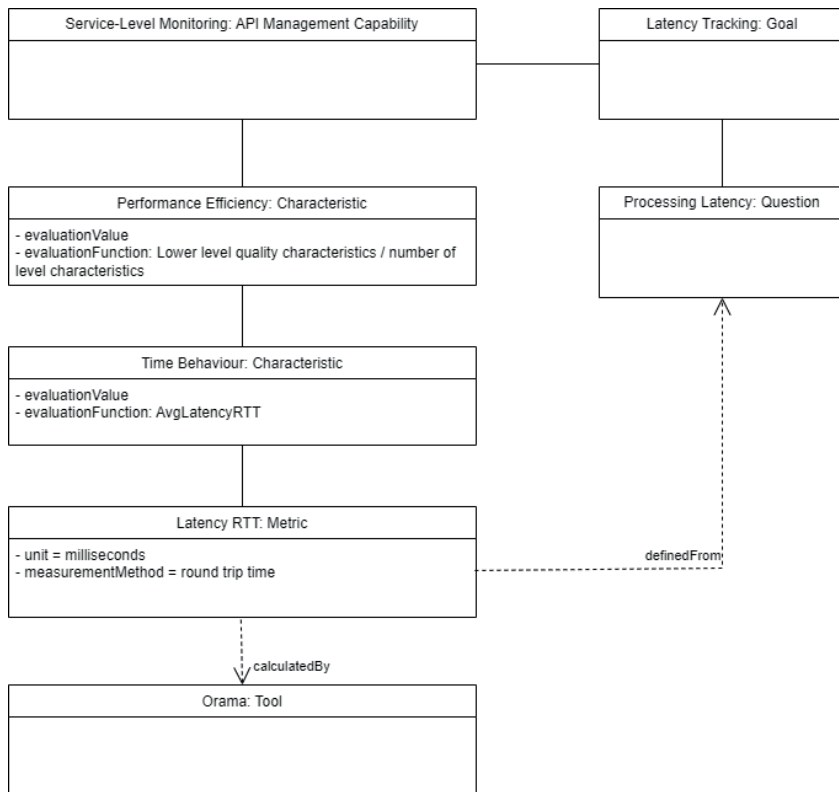


Figure 2: Service-Level Latency Monitoring.

## 6 | DISCUSSION

The systematic integration of quality considerations into the API Management domain is mandatory to set the focus on prevention and to foster continuous improvement. By providing practitioners with quality models that help to assure acceptable degrees of quality, it is expected to enhance the likelihood of acceptance for a particular API Management Platform. To achieve it, designing a tailored API Management software quality metamodel and its associated models represents a crucial endeavor in sustaining continuous quality management and assurance.

This paper presented two main contributions. Firstly, it offered an in-depth examination of the key challenges associated with designing quality metamodels in Software Engineering, along with an updated survey of the current terminology, relevant standards, and evaluation methods employed in the field. Subsequently, API-MQM was introduced as a bespoke software quality metamodel tailored for API Management platforms. Our decision to undertake this endeavor was motivated by the absence of existing metamodels within the domain, necessitating the development of a customized solution to address the identified gaps. To accomplish this, we embraced the prevailing de facto frameworks, namely ISO/

IEC 25000 and GQM, given their significant influence and widespread adoption within the software engineering community for designing software quality metamodels.

Software quality models traditionally prescribe a static set of characteristics and their interrelationships so that they should rather be selected dynamically based on stakeholder needs. Thus, software quality models may not always align with the evolving needs of stakeholders. To address this limitation, metamodels emerge as a flexible solution to help building quality models in a formal basis.

Also important, the use of a metamodel allows to discuss the continuing quality characteristics in the future. This flexibility ensures the relevance and applicability of the quality framework across different contexts and evolving standards. As an example, we suggest API-MQM is suitable for different versions of [12], namely 2011 and 2023 versions. Also, API-MQM support API Management capabilities that can vary in their classification as software and stakeholders needs evolve constantly.

Finally, subjecting API-MQM to both theoretical and empirical assessments allow to suggest that the proposed metamodel met the primary domain requirements. It also incorporated various common metamodel elements identified in existing literature and effectively addressed several well-documented design challenges. These concluding remarks affirm the robustness and relevance of the developed metamodel within the context of API management. model should encompass all elements referenced in the metamodel across different levels of abstraction. This approach would provide further concrete evidence of the metamodel's utility in real-world scenarios and enhance its practical value in software engineering contexts.

## 7 | FUTURE WORK

While this study has identified certain limitations, two main future research directions are proposed.

Primarily, the development of an empirically validated quality model and its comprehensive evaluation stands as a crucial next step to in-depth validate the applicability, feasibility, and effectiveness of the metamodel. Such a

Finally, this metamodel can be extended and improved by addressing various design challenges such as: i. adding entities and guidelines for evaluation and decision criteria; ii. incorporating aggregated entities to enhance semantics; iii. specifying desired quality levels for measured elements; iv. Providing guidance on developing and adopting software products to ensure a desired quality level; and v. assessing and recommending integration strategies for incorporating this quality metamodel and its derived quality models into existing quality management practices within organizations. We suggest this roadmap will serve as a guiding framework to explore unaddressed challenges and refine the proposed approach. By identifying key areas warranting further investigation, we aim to fortify the

theoretical and empirical foundations of our proposal and contribute to advancing the field of API management quality.

## COMPETING INTERESTS

The authors have declared that no competing interests exist.

## FUNDING

The first author is supported by CONICET through an internal PhD scholarship, which underscores his commitment to and expertise in their research. This support validates the research group's plan and the author's qualifications, further ensuring the successful advancement of the proposed project.

## AUTHORS' CONTRIBUTION

The authors confirm contribution to the paper as follows. EDS: Conceptualization, Investigation, Writing-Original draft preparation, Validation, Writing-Reviewing and Editing; SC: Methodology, Writing-Reviewing and Editing; Supervision; Validation. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

## REFERENCES

- [1] Y. Duan, G. Fu, N. Zhou, X. Sun, N. C. Narendra, and B. Hu, "Everything as a service (XaaS) on the cloud: Origins, current and future trends", in 2015 IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Cloud Computing, 2015, pp. 621–628.
- [2] C. Fehling, F. Leymann, R. Retter, W. Schupeck, and P. Arbitter, "Cloud Computing Patterns: Fundamentals to Design, Build, and Manage Cloud Applications". Vienna: Springer Vienna, 2014.
- [3] R. T. Fielding, "Architectural styles and the design of network-based software architectures", 2000.
- [4] 2023 state of the API report, p. 58, 2023. [Online]. Available: <https://voyager.postman.com/pdf/2023-state-of-the-api-report-postman.pdf>
- [5] J. Bloch, "How to design a good api and why it matters", in Companion to the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications, ser. OOPSLA '06. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2006, p. 506–507.
- [6] S. Andreo and J. Bosch, "Api management challenges in ecosystems," in Software Business, S. Hyrynsalmi, M. Suoranta, A. Nguyen-Duc, P. Tyrvaïnen, and P. Abrahamsson, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 86–93.
- [7] B. De, API management: an architect's guide to developing and managing APIs for your organization, first edition ed., ser. For professionals by professionals. Berkeley, CA: Apress, 2017.

- [8] S. Preibisch, *Api development: a practical guide for business implementation success*. New York, NY: Springer Science+Business Media, 2018.
- [9] A. Gamez-Diaz, P. Fernandez, and A. Ruiz-Cortes, “Governify for apis: SLA-driven ecosystem for api governance,” in *Proceedings of the 2019 27th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering*, ser. ESEC/FSE 2019. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, p. 1120–1123.
- [10] K.-B. Schultis, C. Elsner, and D. Lohmann, “Architecture challenges for internal software ecosystems: a large-scale industry case study”, in *Proceedings of the 22nd ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering*, ser. FSE 2014. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014, p. 542–552.
- [11] E. Wilde and M. Amundsen, “The challenge of API management: Api strategies for decentralized api landscapes”, in *Companion Proceedings of The 2019 World Wide Web Conference*, ser. WWW '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, p. 1327–1328.
- [12] “ISO/IEC 25010:2023 - systems and software engineering - systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - product quality model”, 2023.
- [13] “ISO/IEC 25023:2016 - systems and software engineering - systems and software quality – requirements and evaluation (SQuaRE) - measurement of system and software product quality”, 2016.
- [14] “ISO/IEC 25040:2011 - systems and software engineering - systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE) - evaluation process”, 2011.
- [15] V. R. Basili, G. Caldiera, and H. D. Rombach, “The goal question metric approach”, in *Encyclopedia of software engineering*. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 1994.
- [16] M. Mathijssen, M. Overeem, and S. Jansen, “Identification of practices and capabilities in API management: A systematic literature review”, 2020. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2006.10481>
- [17] E. dos Santos and S. Casas, “API management and SQuaRE: A comprehensive overview from the practitioners’ standpoint”, in *Computer Science – CACIC 2023*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 137–150.
- [18] E. dos Santos, and S. Casas, “Unveiling quality in API management: A systematic mapping study”, in *2024 L Latin American Computer Conference (CLEI)*, 2024.
- [19] A. Khammal, Y. Boukouchi, M. A. Hanine, and A. Marzak, “General meta model of software quality”, *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, vol. 7, no. 4, 2016.
- [20] N. Yilmaz and A. K. Tarhan, “Meta-models for software quality and its evaluation: A systematic literature review”, in *Joint Proceedings of the 30th International Workshop on Software Measurement and the 15th International Conference on Software Process and Product Measurement*, ser. CEUR Workshop Proceedings, vol. 2725. Mexico City: CEUR-WS.org, 2020.
- [21] R. Yamamoto, K. Ohashi, M. Fukuyori, K. Kimura, A. Sekiguchi, R. Umekawa, T. Uehara, and M. Aoyama, “A quality model and its quantitative evaluation method for web APIs”, in *2018 25th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, 2018, pp. 598–607.

- [22] K. Petersen, S. Vakkalanka, and L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update”, *Information and Software Technology*, vol. 64, pp. 1–18, Aug. 2015.
- [23] B. Kitchenham, O. Pearl Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey, and S. Linkman, “Systematic literature reviews in software engineering – A systematic literature review”, *Information and Software Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 7–15, Jan. 2009.
- [24] M. Shaw, “Writing good software engineering research papers”, in *25th International Conference on Software Engineering*, 2003. Proceedings. Portland, OR, USA: IEEE, 2003, pp. 726–736.
- [25] P. Ralph, “Toward methodological guidelines for process theories and taxonomies in software engineering”, *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2018, 45(7), pp. 712-735.
- [26] C. Cachero, C. Calero, and G. Poels, “Metamodeling the quality of the web development process’ intermediate artifacts”, in *Web Engineering*, L. Baresi, P. Fraternali, and G.-J. Houben, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 74–89.
- [27] L. R. d. Carvalho and A. Araujo, “Insights into the Performance of Function-as-a-Service Oriented Environments Using the Orama Framework”, *SN Computer Science*, vol. 4, no. 3, p. 305, 2023.

**MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE** - Engenheira Civil pela Universidade Paranaense, especialista em Gestão de Projetos e Obras de Edificações, mestre em Engenharia Urbana e doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina. Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção Civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando diversas disciplinas, sendo: Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I e II, Laboratório de Hidráulica I e II, Materiais de Construção, Fundamentos da Engenharia Ambiental, entre outras. Participa efetivamente em projeto de pesquisa, orientações de TFC bem como orientações de estágio supervisionado e obrigatório.

**A**

Acidentes em ferrovias 156

Advanced oxidation processes 216, 217, 218, 220, 224, 225

Antioxidante 53, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 67, 68, 71

Argamassas colantes 86, 87, 88, 90, 91, 92, 94, 98

Armazenagem 27, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 48, 51

**B**

Biogás 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

**C**

Carbono 1, 4, 5, 6, 11, 66, 72, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 118

Clientes 34, 35, 36, 39, 43, 49, 208, 209, 210, 211, 213

Cúrcuma longa 52, 67

**D**

Dye degradation 216, 217, 218, 220, 221, 222, 223

**E**

Eletrodos E6013 e E7018 1, 2, 5, 10

Energias renováveis 102, 179, 233

Ensino 27, 28, 32, 33, 48, 49, 50, 51, 124

**F**

Ferroeste 155, 156, 157, 158, 159, 161, 164, 168, 169, 170, 171

Filtros naturais 52, 53

Fissuração 12, 13, 14, 15, 16, 20, 21, 26

Fotoproteção 53, 54, 56, 62, 64, 67

**G**

Gestão de estoques 27, 29, 30, 31, 48, 49, 50

**I**

Intervenções urbanísticas 174, 177, 193, 228, 231, 247

**L**

Logística 13, 14, 25, 27, 28, 29, 32, 33, 49, 50, 51, 103, 107, 157, 169

Lote econômico 27, 28, 30, 31, 34, 36, 39, 43, 48



**M**

Manifestações patológicas 12, 13, 14, 20, 23, 25

Máquinas 3, 117, 118, 119, 120, 122, 123

Material reciclado 124, 129, 131, 144

Metalografia 2, 7

**P**

Pavimentos de concreto 12, 13, 21, 24

Pisos e pavimentos de concretos 12

Projeto urbanístico 174, 228

**Q**

Queda de barreira 156, 160, 161, 165, 168, 170

**R**

Requalificação arquitetônica 174, 186, 189, 193, 228, 239, 242, 247

Resíduos 66, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 146, 151, 152, 153

Resíduos de construção e demolição 124, 125, 126, 129, 134, 152, 153

**S**

Sensoriamento remoto 72, 74, 81, 82, 83, 84

Siloxanos 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

Synergetic effect 216, 217

**T**

Tecnologias 1, 11, 48, 72, 74, 128, 179, 193, 233, 247

Tijolos de solo-cimento 124, 133, 147, 153

**V**

Veredas 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83

**Z**

Zona termicamente afetada 2, 5, 7, 8

# ENGENHARIAS E SOLUÇÕES

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA  
O DESENVOLVIMENTO HUMANO



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2025

# ENGENHARIAS E SOLUÇÕES

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA  
O DESENVOLVIMENTO HUMANO

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

  
Atena  
Editora  
Ano 2025