

# ENGENHARIAS

produtividade e inovação tecnológica

# 2

# ENGENHARIAS

produtividade e inovação tecnológica

# 2

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 O autor

Copyright da edição © 2024 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**

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
 Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaina/TO  
 Profª Drª Cristina Aledi Felsemburgh – 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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
 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  
 Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
 Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes  
 Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
 Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
 Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
 Profª Drª Priscila 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  
 Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Engenharias: produtividade e inovação tecnológica 2

**Diagramação:** Thamires Camili Gayde  
**Correção:** Maiara Ferreira  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organização:** Atena Editora

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharias: produtividade e inovação tecnológica 2 /  Organização de Atena Editora. – Ponta Grossa - PR:  Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-2890-9  DOI <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.90912243010">https://doi.org/10.22533/at.ed.90912243010</a></p> <p>1. Engenharia. 2. Pesquisa. 3. Inovação tecnológica. I.  Atena Editora (Organização). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

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

## 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. **Esta obra adota a política de publicação em fluxo contínuo**, o que implica que novos artigos poderão ser incluídos à medida que forem aprovados. Assim, o conteúdo do sumário, a quantidade de artigos e o número total de páginas poderão ser ajustados conforme novos textos forem adicionados. 2. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 3. 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; 4. Todos os e-book são open access, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de ecommerce, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 5. 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; 6. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.


**CAPÍTULO 1 ..... 5****ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO CAROÇO DE MACAÚBA COMO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DURABILIDADE DE CONCRETOS ECOLÓGICO**

Denise Cardoso Guimarães  
 Adriano Luiz Roma Vasconcelos  
 Ana Beatriz Maciel Nascimento  
 Nillya Rocha da Silva  
 Vinícios Rodrigues Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430101>

**CAPÍTULO 2 .....20****CATALISADORES HETEROGÊNEOS DO TIPO ÓXIDOS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICAÇÃO**

Roberta Gaidzinski  
 Bruno Luiz e Souza  
 Leonardo da Silva Marinho  
 Neyda de la Caridad Om Tapanes  
 Ana Isabel de Carvalho Santana  
 Wilma Clemente de Lima Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430102>

**CAPÍTULO 3 .....32****SISTEMA AUTOMATIZADO INTEGRADO À IOT PARA GESTÃO DE MEDICAÇÃO**

Eric Rennan Santos Melo  
 Larissa Fernandes Melo  
 Leonardo Segantin de Souza  
 Michel Nunes Mariano  
 Vitor Hugo Borges  
 Rogério Luis Spagnolo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430103>

**CAPÍTULO 4 .....45****A IMPORTÂNCIA DA PLATAFORMA INSTAGRAM PARA A DISSEMINAÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL ATRAVÉS DO NÚCLEO DE SANEAMENTO E ECONOMIA AMBIENTAL (NUSEA)**

Emerson Lira Freire  
 Eduardo Vale Teixeira  
 Denilson Gualberto de Sousa  
 Sanara de Sousa Ribeiro  
 Maria Izabel de Almeida Leite  
 Livia Maria de Soares Queiroga  
 Géssica Tamyres Ferreira da Silva  
 Brenda Carla Rosendo Martins  
 Andréa Maria Brandao Mendes de Oliveira  
 Luiz Fernando de Oliveira Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430104>


**CAPÍTULO 5 .....54****ORGANIZAÇÃO DO SERVIÇO DE DIAGNÓSTICO LABORATORIAL DO SARS-COV2: A EXPERIÊNCIA DO PROGRAMA DE VIGILÂNCIA DA COVID-19 NA UFPA**

Dwane Louise de Castro Miranda

Ândrea Kely Campos Ribeiro dos Santos

Cláudio Guedes Salgado

José Ricardo dos Santos Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430105>**CAPÍTULO 6 .....74****INFLUENCE OF 2,4-D CONCENTRATION IN THE 2,4-D/LDH HYBRID NANOCOMPOSITE SYNTHESIS USED AS CONTROLLED RELEASE FORMULATION**

Julia Ismerio Cardoso

João Luiz Martins Mattoso Câmara

Bruno Muniz e Souza

Sabrina Guimarães Sanches

Marcio Felipe de Oliveira

Aderval Severino Luna

José Licarion Pinto Segundo Neto

Raquel Pires Gonçalves


Jhonny Oswaldo Huertas Flores

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430106>**CAPÍTULO 7 .....91****ANÁLISE DE ATERRAMENTOS PELO MÉTODO DA QUEDA DE POTENCIAL PARA ELABORAÇÃO DE LAUDOS TÉCNICOS**

Marco Antonio Freire de Queiroz

Paulo Takao Okigami

Jeann Cassio Balduino Monteiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430107>**CAPÍTULO 8 .....98****FATORES DETERMINANTES NO ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE ESTACAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS**

Luanna Carmem Barros Souza

Hendrick da Costa de Souza


Irmfried Henrique Papke

Gabriel Pereira dos Santos

Diego Duarte da Silveira

Genison Antonio Pizzi


Rafael Antonio Pasini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430108>

**CAPÍTULO 9 ..... 104****DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS POR CORRELAÇÕES EM DEPÓSITOS DE BAUXITA**

Leonardo Martins Agripino

Marcio Fernandes Leão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430109>**CAPÍTULO 10.....112****LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA - ARP E SUAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS**

Leonardo Franklin de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9091224301010>**CAPÍTULO 11 .....118****O USO DE ECOBARREIRAS NO COMBATE À FALTA DE SANEAMENTO BÁSICO NAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DE MATO GROSSO DO SUL**

Isadora Martins Vieira

Bruna Gomes do Prado

Júlia Gomes do Prado

Isabele Pereira Rosa

Isabela Ribeiro Akamine

Emanuelle Chinelli Sabatel Panes de Oliveira

Leonel Jornada

Felipe Smolari Lacerda

João Bernardo Teles Leão Sena Santos


Fábio Feitosa

Pâmela Rafaela do Prado

Thiago Lopes Quevedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9091224301011>

## ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO CAROÇO DE MACAÚBA COMO AGREGADO GRAÚDO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DURABILIDADE DE CONCRETOS ECOLÓGICO

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430101>

*Data de aceite: 30/10/2024*

### **Denise Cardoso Guimarães**

Professora Mestre em Engenharia Civil,  
UNITPAC

### **Adriano Luiz Roma Vasconcelos**

Professor Mestre em Engenharia Civil,  
UNITPAC

### **Ana Beatriz Maciel Nascimento**

Estudante de Graduação em Engenharia  
Civil, UNITPAC

### **Nillya Rocha da Silva**

Estudante de Graduação em Engenharia  
Civil, UNITPAC

### **Vinícios Rodrigues Brito**

Estudante de Graduação em Engenharia  
Civil, UNITPAC

**RESUMO:** Os agregados graúdos quando extraídos podem ser prejudiciais ao meio ambiente, a fabricação de materiais que apresentam características que unem sustentabilidade e bom desempenho mostra-se o grande desafio dos pesquisadores. Nesse sentido, surge a macaubeira, uma palmácea encontrada no cerrado brasileiro, possui uma estrutura rígida e particularidades que a transformam em objeto desse estudo, que tem como intuito avaliar o comportamento mecânico e de

durabilidade de concretos confeccionados utilizando-se esse material em substituição parcial ao agregado natural. Assim sendo, serão produzidos compósitos com teores de 10%, 15% e 20% de caroço de macaúba em substituição ao agregado tradicional, buscando obter um concreto especial que apresente características semelhantes aos concretos convencionais. Para a análise das propriedades no compósito, foram executados os ensaios de avaliação da massa específica dos agregados miúdos NBR NM 52 (ABNT, 2009) e graúdos NBR NM 53 (ABNT, 2009), os ensaios de massa unitária dos agregados NBR 16972 (ABNT, 2021) e a análise granulométrica NBR 7181 (ABNT, 2016). Para os traços e análises dos corpos de prova serão feitos os ensaios de consistência do concreto no estado fresco pelo abatimento do tronco de cone NBR 16889 (ABNT, 2020), bem como a resistência à compressão axial NBR 5738 (ABNT, 2018) e o de resistência à tração por compressão diametral NBR 7222 (ABNT, 2011). Atingiu-se, com o teor de 10%, resultados de desempenho satisfatórios aos 7 dias, esperando-se manter este comportamento mecânico também aos 28 dias de cura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agregado Graúdo; Caroço De Macaúba; Durabilidade; Sustentabilidade.



# ANALYSIS OF THE REPLACEMENT OF MACAÚBA SEEDS AS COARSE AGGREGATE IN THE MECHANICAL PROPERTIES AND DURABILITY OF ECOLOGICAL CONCRETES

**ABSTRACT:** When coarse aggregates are extracted, they can be harmful to the environment. The manufacture of materials that have characteristics that combine sustainability and good performance is a major challenge for researchers. In this sense, the macaubeira appears, a palm found in the Brazilian cerrado, has a rigid structure and particularities that make it the object of this study, which aims to evaluate the mechanical behavior and durability of concrete made using this material as a partial replacement to the natural aggregate. Therefore, composites will be produced with 10%, 15% and 20% macaúba seed contents to replace traditional aggregate, seeking to obtain a special concrete that presents characteristics similar to conventional concrete. To analyze the properties of the composite, tests were carried out to evaluate the specific mass of fine aggregates NBR NM 52 (ABNT, 2009) and coarse aggregates NBR NM 53 (ABNT, 2009), unit mass tests of aggregates NBR 16972 (ABNT, 2021) and particle size analysis NBR 7181 (ABNT, 2016). For the traces and analysis of the specimens, concrete consistency tests will be carried out in the fresh state by slumping the frustum cone NBR 16889 (ABNT, 2020), as well as the axial compression resistance NBR 5738 (ABNT, 2018) and the of tensile strength by diametral compression NBR 7222 (ABNT, 2011). With the 10% content, satisfactory performance results were achieved after 7 days, and it is expected to maintain this mechanical behavior also after 28 days of curing.

**KEYWORDS:** Large Aggregate; Macaúba Seed; Durability; Sustainability.

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil desempenha um papel crucial na economia global, mas seus impactos ambientais são significativos, afetando diretamente a sociedade. Estatísticas revelam que o setor consome uma parcela substancial dos recursos naturais, energia e gera uma considerável quantidade de resíduos e emissões de gases de efeito estufa. Neste contexto, surge a necessidade premente de buscar alternativas mais sustentáveis para os materiais de construção, visando mitigar esses impactos ambientais.

Este estudo concentra-se na análise do endocarpo do fruto da *Acrocomia aculeata*, conhecido como “macaúba”, como um potencial material alternativo para a produção de concretos sustentáveis. Este material apresenta propriedades que se assemelham aos agregados convencionais, abrindo portas para sua utilização na composição de concretos com menor impacto ambiental.

O concreto, como um dos materiais mais amplamente utilizados no mundo, é responsável por uma grande demanda por recursos naturais, incluindo agregados minerais, além de gerar impactos significativos durante seu processo de produção, como as emissões de gases poluentes e resíduos líquidos das siderúrgicas.

Uma alternativa promissora para mitigar esses impactos é a adição de fibras de caroço de açaí na composição do concreto, reduzindo a necessidade de aço em concretos armados. Isso não apenas diminui a demanda por recursos finitos, mas também oferece uma destinação apropriada para resíduos agroindustriais.

Assim, a implementação de resíduos agroindustriais como substitutos dos agregados convencionais no concreto representa uma área de pesquisa emergente, que tem despertado interesse tanto de universidades quanto de pesquisadores em todo o mundo. Essa abordagem não só busca reduzir a dependência de recursos naturais finitos, mas também contribui para a mitigação dos impactos ambientais associados à produção de materiais de construção.

O projeto teve como intuito realizar uma avaliação técnica do desempenho mecânico e da durabilidade de concretos, utilizando ensaios de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral e absorção por capilaridade. Investigar as diferenças nas propriedades mecânicas dos concretos feitos com diferentes teores (10%, 15% e 20%) de caroço de macaúba em substituição ao agregado graúdo natural. Avaliar como esses teores afetam as propriedades no estado fresco dos concretos e contribuir para a redução de impactos ambientais, adotando conceitos e características da engenharia verde na produção de concretos sustentáveis com o uso do caroço de macaúba.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### **Acromia aculeata (Macaúba)**

No cerrado brasileiro é encontrada uma grande diversidade de plantas frutíferas nativas ou adaptadas com grande potencialidade para o aproveitamento agroindustrial (SANJINEZ-ARGANDOÑA; CHUBA, 2011). Nesse contexto, está inserida a *Acromia aculeata*, popularmente conhecida como macaúba, palmeira que atinge até 15 m e cujos frutos são bastante apreciados na alimentação, tanto da fauna, quanto dos seres humanos.

Segundo Zanata (2015), a macaúba é uma palmeira nativa do Brasil com ocorrência ao longo das Américas Tropical e Subtropical. No Brasil, encontra-se principalmente nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Tocantins, tendo grande importância para algumas comunidades extrativistas dessas localidades (LORENZI, 2006).

Ainda, segundo Zanata (2015), os frutos da macaubeira possuem formato achatado e têm diâmetro variando de 2,5 a 5 cm. Os frutos são divididos em quatro partes: epicarpo (casca), mesocarpo (polpa), endocarpo e amêndoa, cujas porcentagens na composição total do fruto são, respectivamente, 21%, 38%, 34% e 7%.

Há uma infinidade de estudos que apontam as grandes potencialidades de aproveitamento da macaúba, as quais vão desde a utilização na alimentação até o uso como fonte de bioenergia. Segundo a Embrapa (2013) a *Acromia aculeata* tem se destacado como uma das espécies mais promissoras como fonte de óleo para o biodiesel e bioquerosene, cuja produção é crescente no Brasil. As principais fontes de matéria-prima para a produção dos biocombustíveis no País são o óleo de soja e a gordura bovina – no caso do biodiesel, representavam respectivamente 74% e 20% em setembro de 2014, de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014).

Em comparação a outras plantas oleaginosas, como a soja por exemplo, a macaúba possui uma maior produtividade de óleo por hectare plantado, o que torna essa espécie muito atrativa para as empresas que fabricam esse produto, as quais são as maiores financiadoras das pesquisas relacionadas ao uso da macaúba como matéria prima para a produção de biodiesel e outras potencialidades da espécie (EMBRAPA, 2013).

Vários estudos têm demonstrado o grande potencial calorífico do endocarpo da macaúba (PRADO; SANTOS, 2017). Esse componente representa em média 33% do peso total da fruta e apresenta uma grande dureza e resistência, sendo impossível o seu rompimento sem o auxílio de alguma ferramenta abrasiva.

Lorenzi (2006) citando algumas utilizações da macaúba por comunidades tradicionais do Mato Grosso se refere a substituição da brita pelo caroço integral da fruta no concreto em construção locais nessas regiões, mas não faz nenhuma referência ao desempenho mecânico destes compósitos. Tal incorporação se deu apenas por indisponibilidade do agregado natural na região, não apresentando qualquer embasamento técnico-científico.

## Definição de Concreto

A definição de concreto varia entre os autores pesquisados, mas todas se assemelham quando dizem que este é um material compósito formado basicamente por um aglomerante hidráulico, água e agregados (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE, 2015).

Bassin (1998) diz que o concreto é considerado tradicionalmente como um material formado por agregados envoltos em uma matriz de cimento e que suas propriedades mecânicas estão diretamente relacionadas como as propriedades dos referidos componentes básicos, da proporção entre eles e das características físico-químicas da sua interface.

Já para Pinheiro et. al. (2010) o concreto simples é formado por uma mistura homogênea de cimento, água, agregado graúdo (geralmente brita) e agregado miúdo (geralmente areia) cujas principal característica esperada após o endurecimento é uma boa resistência à compressão.

## **Agregados**

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define agregado como um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a confecção de concretos e argamassas.

Esses materiais ocupam em média 75% do volume total do concreto e algumas de suas características influenciam diretamente nas propriedades deste compósito. Segundo Vasconcelos (2016) as características dos agregados que mais importam na determinação do desempenho dos concretos incluem composição granulométrica, porosidade, absorção de água, forma e textura superficial das partículas.

Os agregados tradicionalmente empregados no concreto são de origem natural, extraídos de jazidas. Porém, como se trata de um material com função primordial de enchimento, torna-se possível a substituição do mesmo por outros materiais com características semelhantes.

Nesse contexto, encontrou-se na literatura pesquisada uma série de estudos que visam o reaproveitamento de resíduos como agregados no concreto, tendo em vista a sustentabilidade e a questão técnico-econômica.

## **Durabilidade**

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) a durabilidade de uma estrutura é a sua capacidade de resistir às interferências ambientais previstas em projeto, sempre conservando sua integridade física, promovendo segurança a seus ocupantes e mantendo desempenho adequado durante sua vida útil.

Um dos fatores que mais influenciam na durabilidade de uma estrutura é a presença de água no meio em que ela se encontra. Em fundações, a entrada de água por capilaridade ocorre devido à presença de água no solo e à falta de obstáculos que impeçam sua passagem

## **METODOLOGIA**

A princípio foi necessário a coleta da matéria prima, logo depois deu-se início a limpeza e retirada do insumo (Figura 01) para garantir que usássemos apenas o caroço da macaúba. Em seguida, foi preciso começar pelo processo de caracterização dos materiais, onde foram feitos os ensaios para garantir a qualidade e caracterizar os componentes a serem utilizados na mistura.



Figura 1: Limpeza dos caroços de macaúba. Fonte: Próprio Autor, 2023.

O primeiro ensaio a ser desenvolvido em laboratório foi o da massa unitária dos agregados NBR 16972 (ABNT, 2021), onde os agregados grãos e miúdos foram pesados a fim de determinar sua massa unitária a partir da relação entre massa e volume. Para determinar a massa específica dos agregados miúdos NBR NM 52 (ABNT, 2009) utiliza-se o Método do Frasco de Chapman que por meio de um frasco calibrado e graduado, contendo inicialmente 200 cm<sup>3</sup> de água, coloca-se uma amostra de 500 g de areia seca (Figura 2).



Figura 2: Método do Frasco de Chapman. Fonte: Próprio Autor, 2024.

Já para a massa específica do agregado grão NBR NM 53 (ABNT, 2009), analisou-se a massa do agregado seca e úmida (Figura 3).



Figura 3: Pesagem do agregado gráudo úmido. Fonte: Próprio Autor, 2024.

Na sequência a massa específica do cimento NBR 16605 (ABNT, 2017), por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier (Figura 4), coloca-se a amostra de cimento dentro do frasco, para isso utilize o funil de haste curta, em pequenas proporções atentando para que não ocorra aderência de cimento nas paredes internas do frasco, obtendo o resultado dividindo a massa de cimento introduzida pela diferença de volume provocada pela adição do cimento.



Figura 4: Frasco de Le Chatelier. Fonte: Próprio Autor, 2024.

Bem como a análise granulométrica que de acordo com a NBR 17054 (ABNT, 2022) pode ser determinada por meio de ensaios de peneiramento em laboratório, as partículas retidas em cada peneira são pesadas, e esses dados são usados para calcular a porcentagem de material em cada faixa de tamanho, que ilustra a distribuição das partículas de acordo com o tamanho.

Após a caracterização dos materiais deu-se início a mistura do primeiro traço 1:2:3 sem a substituição parcial da macaúba, onde foram utilizados 15,70kg de cimento, 32,68 de areia, 44,30 de brita e 8,32kg de água, ao rodar o traço foi feito o ensaio de consistência do concreto no estado fresco pelo abatimento do tronco de cone NBR 16889 (ABNT, 2020), e em seguida moldado 20 corpos de prova que aguardaram em cura úmida o rompimento dos corpos de prova de 7 dias e 28 dias (Figura 5).



Figura 5: Corpos de prova. Fonte: Próprio Autor, 2024.

Logo depois do primeiro traço foi feito o traço com a substituição parcial de 10% do agregado graúdo por caroços de macaúba, com o caroço sem um tamanho padrão já que foi utilizado in natura, sendo assim a dosagem foi composta por 15,70kg de cimento, 32,68 de areia, 39,87 de brita, 1,94kg dos caroços de macaúba e 8,32kg de água, após a mistura e moldagem dos corpos de prova, eles repousaram em cura úmida aguardando o rompimento dos corpos de prova aos 7 dias e 28 dias. A fim de sanar o inchamento causado pela absorção do caroço de macaúba, que consequentemente gera fissuras por expansão volumétrica em concreto, utilizou-se a técnica de pré-molhagem por 24 horas antes da concretagem (Figura 6).





Figura 6: Carroços da macaúba saturados por 24h. Fonte: Próprio Autor, 2024.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para fins de avaliação, deve-se evidenciar que a absorção de água por este tipo de material e o índice de vazios é maior comparado ao agregado natural, pois há uma redução em parâmetros como, massa específica, relação água cimento e permeabilidade. Há um aumento na fluidez e na habilidade passante em teores de substituição acima de 50% para fração miúda e até 50% para graúda (CAMPOS et al., 2018; FROTTE et al., 2017 apud SANTOS et al., 2020).

Diante disso, as tabelas a seguir mostram os resultados a partir dos ensaios de caracterização dos compósitos utilizados para a confecção tanto do concreto de agregado graúdo britado quanto com incorporação parcial de 10%.

### Caracterização dos agregados

Os resultados encontrados nos ensaios de determinação da massa unitária e da massa específica dos agregados são apresentados na Tabela 1.

MASSA UNITÁRIA			
Areia grossa		Brita 1	
Peso de bandeja (g)	500,00	Peso de bandeja (g)	2940,00
Bandeja + areia (g)	4060,00	Bandeja + brita (g)	31070,00
Peso da areia (g)	3560,00	Peso da brita (g)	28130,00
<b>Massa unitária (g/cm³)</b>	<b>1,519</b>	<b>Massa unitária (g/cm³)</b>	<b>1,417</b>
MASSA ESPECÍFICA			
Areia grossa		Brita 1	
Quantidade de água (ml)	200	Peso do recipiente (kg)	3,76
Quantidade de areia (g)	500	1m1l Quantidade de brita (kg)	28,38
Nível de água com areia (ml)	389	1m2l Água com brita (kg)	38,02
Volume final – Volume inicial (ml)	189	M2 - M1	9,64
<b>Massa específica (g/cm³)</b>	<b>2,646</b>	<b>Massa específica (g/cm³)</b>	<b>2,944</b>

Tabela 1: Massa unitária e massa específica dos agregados

Autores (2024)

A tabela apresenta o detalhamento e caracterização dos ensaios executados resultando em um valor esperado e satisfatório visto ao material utilizado.

Influência da incorporação no estado fresco

Buscando avaliar a influência da incorporação do agregado graúdo especial de macaúba (AGEM) estudado nas propriedades frescas, realizou-se o ensaio de avaliação da consistência, cujo resultados são apresentados na Figura 7.

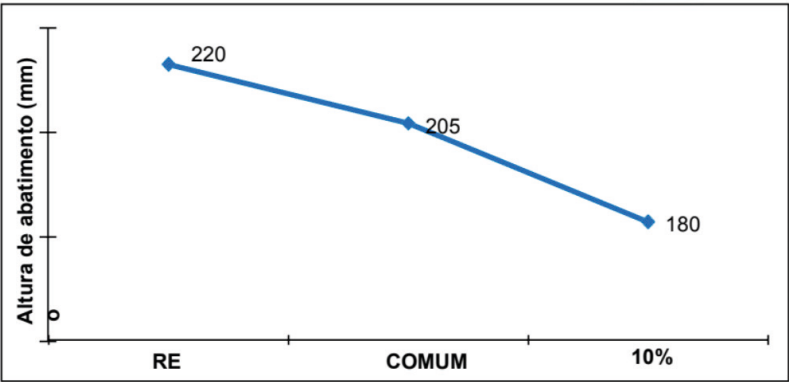


Figura 7: Abatimento (Slump Test). Fonte: Próprio Autor, 2024.

Apesar de possuir geometria esférica (Índice de Forma = 1,10), a da técnica de pré-molhagem para confecção dos concretos resultou em uma redução de cerca de 12,50% nos valores de abatimento. Pois a água absorvida pelo agregado especial estudado acaba por não colaborar com a consistência da massa de concreto.

Caracterização do Cimento Portland

Os resultados encontrados nos ensaios de determinação da massa específica do cimento são apresentados na Tabela 2.

MASSA ESPECÍFICA CIMENTO CP II TOCANTINS	
Quantidade de querosene (ml)	1,00
Quantidade de cimento (g)	60,00
Nível de água com cimento (ml)	21,70
Volume final – Volume inicial (ml)	20,70
Peso específico (g/cm³)	2,899

Tabela 2: Massa específica do cimento  
Autores (2024)

Propriedades no estado endurecido

Resistência à compressão axial

Os valores foram obtidos através do ensaio como mostra a figura 8, foi executado aos 7 e 28 dias para os corpos de prova de referência



Figura 8: Ensaio de compressão axial. Fonte: Próprio Autor, 2024.

O ensaio foi executado sob os preceitos da NBR 5738 (ABNT, 2018), e os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 3.

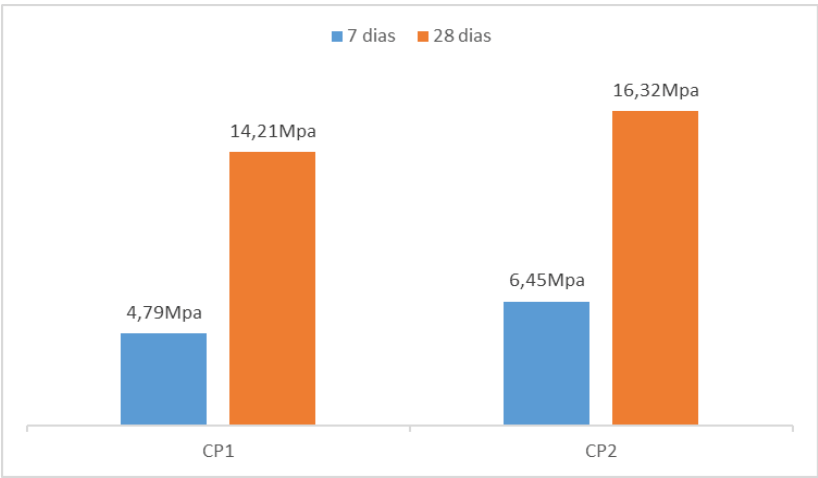


Tabela 3: Resistência a compressão  
Autores (2024)

Nota-se que o concreto apresentou resistência insatisfatória quanto ao  $F_{ck}$  de dosagem, todavia apesar de não ter atingido resistência para ser utilizado como concreto estrutural, o mesmo pode ser aplicado em concretos com fins não estruturais, como por exemplo o meio-fio, dentre outros.

#### *Resistência à tração por compressão diametral*

O ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral no componente do corpo de prova da substituição parcial de 10%, aos 7 dias, como mostrado na Figura 8 foi regido pela NBR 5738 (ABNT, 2018), e seus resultados estão apresentados na Figura 9.



Figura 8: Ensaio de tração por compressão diametral. Fonte: Próprio Autor, 2024.

O concreto com incorporação parcial obteve o desempenho esperado no rompimento dos corpos de prova aos 7 dias e teve um resultado relativamente bom aos 28 dias, sendo assim uma boa opção para concreto não estrutural.

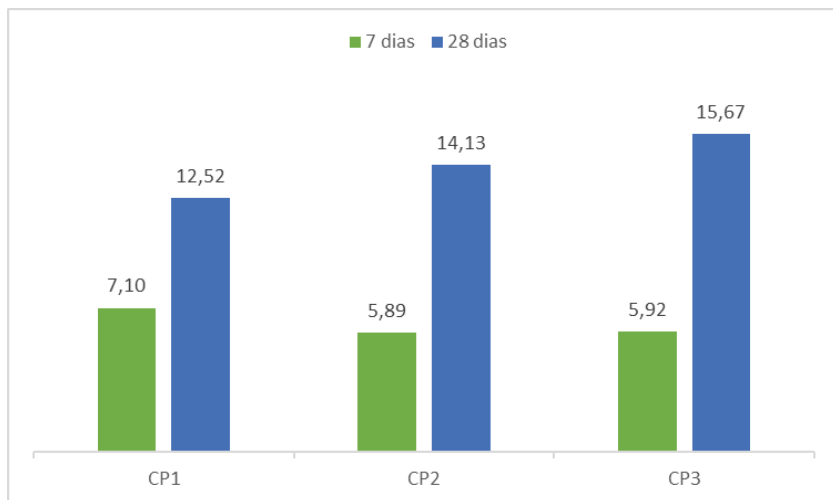


Figura 9: Resistência média a compressão diametral aos 7 dias (AUTORES (2024))

A Figura 10 apresenta um corpo de prova com substituição parcial de 10% rompido à tração por compressão diametral, onde é possível observar o caminho de fissuração na interface entre o agregado especial e a massa.



Figura 10: Corpo de prova rompido em corte longitudinal. Fonte: Próprio Autor, 2024

## CONCLUSÕES

Dessa maneira foi possível observar os diferentes comportamentos dentro de cada especificidade do concreto, há uma diminuição do abatimento quando incorporado o caroço de macaúba que pode ser justificado pela grande absorção que este agregado especial possui, que consequentemente diminui a água de amassamento que contribui para a consistência do concreto.

Nas avaliações das propriedades mecânicas no estado endurecido, constatou-se que o concreto de agregado graúdo brita não atingiu a resistência necessária de um concreto estrutural, fato que pode ter ocorrido devido alguma falha mecânica no processo de execução do traço. O que se dá ao concreto de agregado incorporado, com um teor de substituição de 10%, pode-se notar com o rompimento dos corpos de prova aos 7 dias, que se atingiu uma resistência favorável ainda que baixa na resistência de tração por compressão diametral, atingindo até 7,10Mpa.

Já o rompimento aos 28 dias atingiu até 15,67Mpa, diante disso pode-se notar um potencial significativo em relação a viabilidade técnica da substituição neste teor, considerando que os testes com o teor de substituição de 15% e 20% estão em desenvolvimento para determinar a eficiência em termos de resistência mecânica, e se a incorporação desse elemento natural é viável, tanto de forma técnica, quanto social e ambiental.

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 9935: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BITTENCOURT, T. N.. **Estudo experimental do fraturamento do concreto estrutural por meio de corpos de prova cilíndricos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bociuiva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London, Thomas Telford, 1993.

CORNELL FRACTURE GROUP. **Franc3D Menu & Dialog Reference**. Cornell University, Ithaca, 1998.

FERNANDES, C. A., et al.. Reforço de pilares de elevado do metrô de São Paulo, **41º Congresso Brasileiro do Concreto**. São Paulo, IBRACON, 1999.

NEPA. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. **Tabela brasileira de composição de alimentos**: versão II. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2006.105p.

**NBR 5739:** Ensaios de Compressão Corpo de prova Cilíndrico. Comitê ABNT/CB- 018 Cimento, Concreto e Agregado. 9 páginas, 2018.

**NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Comitê: ABNT/CB- 18 Cimento, Concreto e Agregados. 6 páginas, 2009.

**NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Comitê: ABNT/CB-18 Cimento, Concreto e Agregados. 8 páginas, 2009.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.526-530, 2002.

SANTOS, F. S. dos; AZEREDO, P. H. de A.; VENEU, D. M. Avaliação de concreto sustentável contendo teores de resíduos de agregados reciclados / Evaluation of sustainable concrete containing contents of recycled aggregate residues. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 7, p. 45457–45471, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-244. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/12996>. Acesso em: 23 aug. 2024.

SHAH, S.P.; SWARTZ, S.E.; OUYANG, C. **Fracture mechanics of concrete** - applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi-brittle materials, New York, John Wiley & Sons, 1995.



# CATALISADORES HETEROGÊNEOS DO TIPO ÓXIDOS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR TRANSESTERIFICAÇÃO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430102>

Data de submissão: 25/10/2024

Data de aceite: 30/10/2024

**Roberta Gaidzinski**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
– UERJ, Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/7062782589166603>

**Bruno Luiz e Souza**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
– UERJ, Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/5718945737538310>

**Leonardo da Silva Marinho**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
– UERJ, Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/4037003784749655>

**Neyda de la Caridad Om Tapanes**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
– UERJ, Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/0118442747096331>

**Ana Isabel de Carvalho Santana**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
– UERJ, Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/6191230659599935>

**Wilma Clemente de Lima Pinto**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
– UERJ, Rio de Janeiro - RJ  
<http://lattes.cnpq.br/4475467554540341>

**RESUMO:** A redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa vem criando uma demanda por combustíveis menos poluentes, como o biodiesel. A mistura do biodiesel ao diesel foi instituída com o objetivo de reduzir as emissões de poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde da população. Atualmente, o teor obrigatório de biodiesel adicionado ao diesel é de 14%. No Brasil, a maior parte do biodiesel é produzido a partir de óleos vegetais com a utilização de álcool e um catalisador homogêneo por reação de transesterificação. O crescente interesse pelo uso de catalisadores heterogêneos tem aumentado devido a algumas vantagens em relação aos homogêneos, como o fato de serem recuperados e reutilizados no processo, diminuindo os custos de produção. Algumas desvantagens da catálise homogênea também são evitadas como a corrosão do reator e a saponificação no meio reacional. Catalisadores heterogêneos utilizados nesse processo incluem óxidos metálicos, resinas de troca iônica, enzimas, zeólitas e outros. A escolha do catalisador depende da matéria-prima utilizada, condições de reação, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Este trabalho tem o objetivo de fazer uma

revisão bibliográfica com o tema catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel por transesterificação. A metodologia consistiu em uma pesquisa exploratória com levantamento bibliográfico dos últimos cinco anos. Dentre os tipos de catalisadores heterogêneos, a revisão aborda os óxidos metálicos puros, dopados ou modificados, sendo avaliada a eficiência da transesterificação por meio da conversão em ésteres e/ou rendimento da reação. Resultados apresentados sugerem óxidos como catalisadores promissores para a produção de biodiesel, sendo obtidos elevados teores de conversão em ésteres e rendimentos da reação. Óxidos provenientes da calcinação de resíduos naturais também mostraram excelentes resultados de atividade catalítica para a produção de biodiesel. Nesse caso, também se apresentam como catalisadores mais sustentáveis, pois destinam um uso a resíduos sem valor agregado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Catalisadores heterogêneos; Biodiesel; Óxidos, Transesterificação, Sustentabilidade ambiental.

## HETEROGENEOUS OXIDE CATALYSTS FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL BY TRANSESTERIFICATION

**ABSTRACT:** The reduction in the emission of gases responsible for the greenhouse effect has been creating a demand for less polluting fuels, such as biodiesel. The mixture of biodiesel and diesel was instituted with the objective of reducing emissions of pollutants that are harmful to the environment and the health of the population. Currently, the mandatory content of biodiesel added to diesel is 14%. In Brazil, most biodiesel is produced from vegetable oils with the use of alcohol and a homogeneous catalyst by transesterification reaction. The growing interest in the use of heterogeneous catalysts has increased due to some advantages over homogeneous ones, such as the fact that they are recovered and reused in the process, reducing production costs. Some disadvantages of homogeneous catalysis are also avoided, such as reactor corrosion and saponification in the reaction medium. Heterogeneous catalysts used in this process include metal oxides, ion exchange resins, enzymes, zeolites, and others. The choice of catalyst depends on the feedstock used, reaction conditions, economic viability and environmental sustainability. This work aims to make a bibliographic review on the theme heterogeneous catalysts for the production of biodiesel by transesterification. The methodology consisted of an exploratory research with a bibliographic survey of the last five years. Among the types of heterogeneous catalysts, the review addresses pure, doped or modified metal oxides, evaluating the efficiency of transesterification through conversion into esters and/or reaction yield. Results suggest oxides as promising catalysts for biodiesel production, with high levels of ester conversion and reaction yields. Calcium Oxides from calcination of natural residues also showed excellent results of catalytic activity for the production of biodiesel. In this case, they also present themselves as more sustainable catalysts, as they allocate a use to waste without added value.

**KEYWORDS:** Heterogeneous catalysts; Biodiesel; Oxides, Transesterification, Environmental sustainability.

## INTRODUÇÃO

Vem se agravando com os anos a crise climática e a busca pela redução dos gases responsáveis pelo efeito estufa, que vêm criando uma demanda na busca por combustíveis menos poluentes, como é o caso do etanol, gás natural e biodiesel.

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), biocombustíveis consistem em substâncias derivadas de biomassa renovável. O biocombustível pode substituir, parcialmente ou totalmente, compostos de origem fóssil em motores ou em outros tipos de geração de energia. Por serem biodegradáveis, e praticamente livres de enxofre e compostos aromáticos, não causam impactos elevados ao meio ambiente (ANP, 2024).

No Brasil, o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira no ano de 2005, por meio da Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005, que dispôs sobre a adição de biodiesel ao diesel. No entanto, somente a partir de janeiro de 2008 passou a vigorar legalmente a adição compulsória de 2% de biodiesel ao diesel (conhecida como B2) em todo o território nacional. Com o desenvolvimento do mercado brasileiro, esse percentual foi progressivamente ampliado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Atualmente, a partir de março de 2024, o teor de adição de biodiesel ao diesel consiste em 14% de acordo com a Resolução CNPE nº8/2023. A Resolução prevê que, em março de 2025, esse percentual aumentará para 15% (ANP, 2024).

O biodiesel pode ser produzido a partir de matérias-primas oleaginosas diferentes. Óleos vegetais são produtos naturais constituídos por triglicerídeos, em menor proporção mono e diglicerídeos, e ácidos graxos livres. A viabilidade das oleaginosas para a produção de biodiesel varia nas diferentes regiões de acordo com a disponibilidade dependendo, além de aspectos como teor em óleo, produtividade por unidade de área, adequação a diferentes sistemas produtivos, sazonalidade e demais aspectos relacionados como ciclo de vida da planta (Barbosa et al, 2021; Cardoso et al, 2020).

O processo de produção de biodiesel mais utilizado no Brasil consiste na transesterificação metílica de óleos vegetais em meio alcalino com a utilização de catalisadores homogêneos.

O metanol é o álcool mais comum e serve para catalisar reações de transesterificação em temperatura ambiente quando reage com o óleo vegetal para produzir biodiesel e glicerol. O etanol e propanol são outros agentes transesterificantes que reagem com o óleo vegetal em condições reacionais mais severas, diferentes do metanol. Neste caso são necessárias temperaturas mais elevadas para que se atinjam elevadas conversões em biodiesel quando comparadas com o metanol (Barbosa et al, 2021; Cardoso et al, 2020).

Dentre os catalisadores homogêneos usados na transesterificação, os alcóxidos metálicos são os mais utilizados. Para que o processo seja viável com a utilização de catalisadores homogêneos, o óleo deve conter baixo teor de ácidos graxos livres, o que evita o consumo do catalisador alcalino e reduz o rendimento do processo de alcoólise.

Além disso, o material graxo deve possuir baixo teor de umidade. A presença de água pode induzir a hidrólise dos monoésteres produzidos, aumentando assim a possibilidade da formação de emulsões e redução no rendimento do processo (Perez et al., 2016; Cordeiro et al, 2011; Ramos et al, 2011).

A seletividade do catalisador é uma característica que favorece a formação do produto desejado. Grande parte das reações são capazes de gerar mais de um produto e a formação de um deles pode ser indesejada. Dentre as várias condições para se ter um catalisador seletivo estão a natureza eletrônica e geométrica, tamanho das partículas e poros. A atividade do catalisador depende da sua interação com o mecanismo (Lima, 2018).

Apesar da produção industrial do biodiesel estar baseada na transesterificação de óleo refinado com metanol usando catálise básica homogênea, alguns problemas se encontram relacionados com essa tecnologia, tais como a saponificação dos ésteres (catálise básica), possibilidade de corrosão do reator (catálise ácida), dificuldade de separação do catalisador dos produtos formados, purificação dos produtos, atividade baixa frente a alcoóis de maior massa molar, além do maior número de etapas do processo (Eid, 2022; Costa, 2011).

Devido aos problemas relacionados ao uso da catálise homogênea, a aplicação da catálise heterogênea tem sido estudada como uma alternativa para tornar o processo mais limpo, com melhor eficiência e viabilidade econômica e ambiental (Sousa 2023; Shine, 2022; Angilelli et al., 2019; Bueno, 2019; Perez et al., 2016; Prado, 2016; Cordeiro et al, 2011; Costa, 2011).

A síntese do biodiesel com o uso da catálise heterogênea possui algumas vantagens em relação a homogênea como a facilidade de purificação dos monoésteres alquílicos, a reciclagem e reutilização do catalisador sólido ao longo de sua vida útil, a minimização na geração de efluentes. Essas vantagens podem resultar em uma produção de biodiesel economicamente mais vantajosa (Shine, 2022; Orsi, 2021; Bueno, 2019; Cordeiro et al, 2011; Costa, 2011). No entanto, após sucessivas utilizações, surgem desafios relacionados à perda gradual de atividade dos catalisadores, tornando necessário ajustar e otimizar as variáveis do processo. Além disso, a performance catalítica pode ser aprimorada por meio da utilização de catalisadores em escala nanométrica, aproveitando sua maior área superficial específica (Widiarti et al. 2024; Lino, 2019).

Catalisadores heterogêneos utilizados para a produção de biodiesel incluem óxidos metálicos, carbonatos metálicos, resinas de troca iônica, enzimas, zeólitas e outros. Dentre esses, os catalisadores do tipo óxidos apresentam grande número de publicações com resultados promissores em relação ao rendimento da reação, conversão em ésteres (biodiesel) e reutilização em outros ciclos.

Este capítulo de livro tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico atualizado com o tema catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel por transesterificação com foco nos catalisadores do tipo óxidos e em especial, os a base de óxido de cálcio (CaO).

## METODOLOGIA

A metodologia adotada consistiu em uma pesquisa exploratória com levantamento bibliográfico com o tema catálise heterogênea para a produção de biodiesel por transesterificação e os catalisadores do tipo óxidos.

A pesquisa foi realizada utilizando bases de dados acadêmicas, como Scopus e Web of Science com coletas de artigos científicos. A pesquisa abrange publicações do período de 2011 a 2024. Para os resultados experimentais descritos foram consideradas publicações dos últimos cinco anos (2020 a 2024).

## CATALISADORES HETEROGÊNEOS

Catalisadores heterogêneos compreendem estruturas sólidas nas quais a reação se desencadeia em sua superfície. Todavia, essa superfície não se apresenta uniforme, sendo a reação executada em sítios ou centros ativos específicos. Nesse sentido, a catálise heterogênea está intrinsecamente atrelada aos fenômenos de transporte e superfície, especialmente à difusão, adsorção e dessorção de moléculas nesses sítios ativos. O desempenho destes materiais como catalisadores está relacionado com a natureza destes sítios ácidos ou básicos, bem como em função de sua densidade (quantidade de sítios ativos por área) e intensidade, exercendo impacto na conversão e seletividade em reações químicas (Sousa, 2023; Orsi, 2021; Cardoso et al, 2020; Cordeiro et al, 2011).

Os catalisadores sólidos utilizados podem ser ácidos, básicos ou enzimáticos (Barbosa et al, 2021; Orsi, 2021; Cardoso et al, 2020, Lino, 2019). Os catalisadores básicos são mais ativos que catalisadores ácidos. Apesar da atividade menor, o uso de catalisadores ácidos apresenta como vantagens a insensibilidade em relação a ácidos graxos livres, transesterificação e esterificação simultâneas, eliminação do processo de purificação do biodiesel, separação simples do catalisador e dos produtos da reação (Orsi, 2021).

Vários sólidos têm sido propostos como catalisadores heterogêneos em potencial para a síntese do biodiesel. Alguns catalisadores heterogêneos típicos conhecidos consistem em óxidos metálicos, zeólitas, argilas, haletos metálicos, catalisadores dopados com outros elementos, metais suportados em sólidos de alta área superficial, enzimas, resinas poliméricas, entre outros.

Alguns estudos mostram que a atividade catalítica heterogênea é frequentemente inferior à homogênea. Esse fato pode ser atribuído a lentidão no processo de reação da catálise heterogênea, desafios no contato efetivo entre os reagentes e o catalisador, transferência de massa, formação de fases, entre outros fatores, quando comparado ao processo de catálise homogênea (Bueno, 2019).

A reação catalítica heterogênea acontece com os seguintes estágios: primeiro, há a adsorção das moléculas de reagentes na superfície do catalisador. Essa adsorção pode ser química ou física, e então, haverá quebra ou enfraquecimento das ligações intramoleculares. Posteriormente, as espécies adsorvidas reagem na superfície do material catalítico formando o produto. Por último, esse é dessorvido da superfície, retornando a outra fase do meio reacional, e regenerando os sítios ativos do catalisador. Com os sítios ativos regenerados o catalisador pode iniciar um novo ciclo catalítico (Shine, 2022; Sousa 2023).

As fases de transferência de massa são procedimentos de cunho físico. As etapas de adsorção/dessorção e reação na superfície são influenciadas pela interação química entre reagentes e sítios ativos, cujo desempenho é diretamente associado à natureza dos sítios básicos e/ou ácidos presentes em sua superfície, assim como à sua área superficial. Múltiplos fatores exercem impacto sobre a eficiência do catalisador heterogêneo, os quais incluem tratamento térmico, temperatura de calcinação, hidrofobicidade/hidrofiliicidade, área superficial, porosidade e processo de lixiviação (Sousa, 2023; Cordeiro, 2011).

A atividade catalítica de sólidos que possuam sítios básicos de Brønsted-Lowry está relacionada a fenômenos de interação entre o álcool usado como agente de transesterificação e a superfície do sólido catalítico (Figura 1). A interação ácido-base favorece o ataque nucleofílico do par de elétrons do oxigênio da hidroxila alcoólica ao carbono da carbonila do éster reagente, com a formação de um intermediário tetraédrico que vai dar origem a outra molécula de éster e um íon alcóxido. O alcóxido remove um próton da superfície do catalisador, com a formação de outra molécula de álcool, regenerando assim o sítio básico do sólido catalítico, que fica novamente disponível para participar de um novo ciclo de catálise (Cordeiro et al., 2011).

No caso dos catalisadores ácidos de Brønsted-Lowry, estes são capazes de protonar o grupamento carbonila dos materiais graxos, levando à formação de carbocátions. A Figura 2 mostra o mecanismo associado à ação de ácidos de Lewis em reações de esterificação. As moléculas de ácidos graxos são adsorvidas na superfície do catalisador e, devido à interação ácido-base entre o par de elétrons do oxigênio carbonílico do ácido graxo e o metal presente na estrutura do catalisador, favorecendo o ataque nucleofílico do par de elétrons da hidroxila alcoólica com a formação de um intermediário tetraédrico. O intermediário elimina uma molécula de água e o monoéster graxo formado permanece adsorvido na superfície do catalisador. Com a dessorção do monoéster, a superfície do catalisador fica livre para participar dos próximos ciclos catalíticos (Cordeiro et al., 2011).

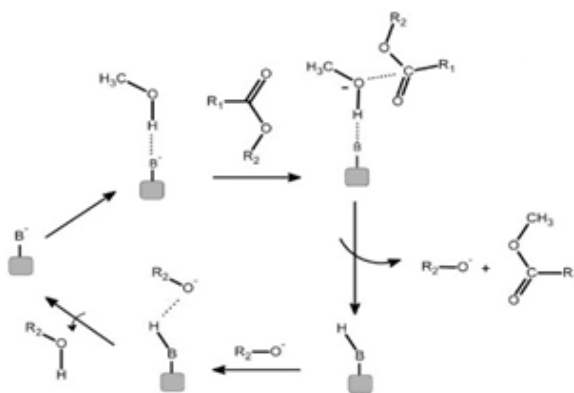


Figura 1: Mecanismo de transesterificação em meio heterogêneo. “B” representa o sítio básico de Lewis, “R” e “R1” são radicais. Fonte: Cordeiro et al., 2011.

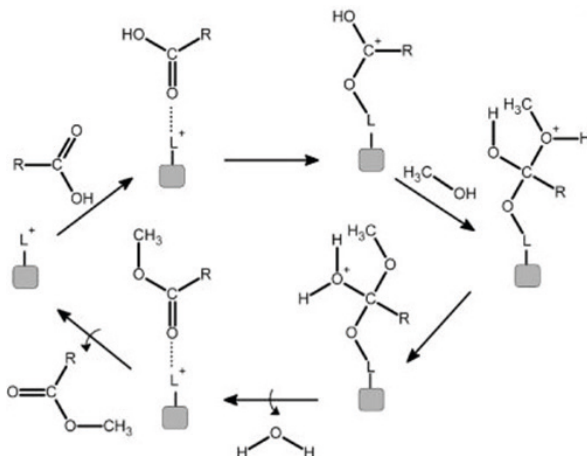


Figura 2: Mecanismo de transesterificação em meio heterogêneo. “L” representa o sítio ácido de Lewis e “R” o radical do ácido graxo. Fonte: Cordeiro et al., 2011.

## CATALISADORES HETEROGÊNEOS DO TIPO ÓXIDOS

Grande parte dos catalisadores sólidos heterogêneos para a produção de biodiesel consistem em óxidos inorgânicos com grande área de superfície. Os óxidos metálicos simples, mistos ou dopados são utilizados na reação de transesterificação com o objetivo de melhorar a basicidade e outras propriedades catalíticas, alcançando uma maior atividade e estabilidade (Cardoso et al., 2022; Prado, 2016; Cordeiro, 2011).

A utilização de óleos de partida com teor elevado de ácidos graxos pode originar subprodutos como sabão, e a consequente redução do rendimento da transesterificação. Para evitar esse resultado é geralmente realizada uma pré-esterificação, procedimento que atenua a acidez para níveis aceitáveis durante o processo de transesterificação para a produção do biodiesel. Entre os catalisadores que se destacam nessa função de pré-esterificação também se destacam os óxidos metálicos (Perez et al., 2016).

A estrutura dos óxidos metálicos é constituída por cátions metálicos (ácidos de Lewis) e por ânions de oxigênio (base de Brønsted), conforme mostra a Figura 3. Na transesterificação, os óxidos fornecem sítios de adsorção do metanol, em que as ligações O-H são facilmente quebradas em ânions metóxido e cátions de hidrogênio. Assim, ânions metóxido reagem com moléculas de triglicerídeos para formar os ésteres metílicos dos ácidos graxos correspondentes (Prado, 2016).

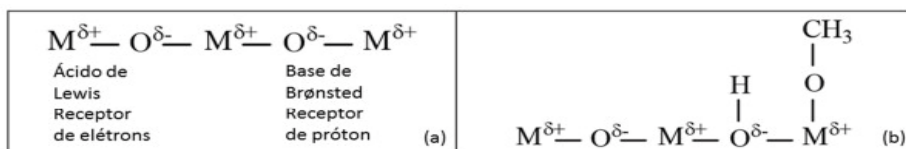


Figura 3: (a) Estrutura da superfície dos óxidos metálicos, (b) superfície do óxido com metanol  
Fonte:Prado, 2016.



Reações de transesterificação realizadas por Souza (2023) destacaram o desempenho do trióxido de molibdênio ( $\alpha$ -MoO<sub>3</sub>) como catalisador, obtido com a utilização do método Pechini modificado. Os testes foram executados em um reator autoclave com sistema de agitação mecânica, indicador de pressão, controlador de tempo e temperatura. O processo ocorreu em batelada, empregando álcool metílico na proporção de 12:1 (álcool/óleo) e óleo de soja acidificado com 20% de ácido oleico. As condições experimentais incluíram tempos de 30, 60, 120 e 240 minutos, temperaturas de 100, 120 e 150°C, agitação de 500 rpm, e quantidades de 3% (m/m) do catalisador em relação à massa do óleo. Após o período de reação e resfriamento do reator, os produtos obtidos foram submetidos à centrifugação para separação do catalisador, da glicerina e do excesso de álcool ou água presentes no meio. Para assegurar a remoção da glicerina e do excesso de álcool, realizou-se uma etapa de lavagem com água destilada aquecida a 55°C. Os resultados indicaram que a conversão ótima em ésteres metílicos foi alcançada com o tempo de reação de 120 minutos e temperatura de 150°C, atingindo conversão de 99,3% (transesterificação) e 97,2% (esterificação). Os teores de ésteres formados foram considerados acima dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira (96,5%).

Um catalisador de óxido metálico de baixo custo, facilmente disponível, não corrosivo, vida longa, ecologicamente vantajoso, fácil de manusear, baixa solubilidade, alta basicidade, proveniente de diferentes matérias-primas para síntese de biodiesel é o óxido de cálcio (CaO) (Basumatary et al., 2023; Lino, 2019). O CaO possui cor branca com formato esférico, alta porosidade e distribuição de tamanho de partícula estreita. Além disso, pode ser regenerado e reutilizado, ou seja, é um dos catalisadores sólidos mais utilizados e eficientes na reação de transesterificação de diferentes matérias primas para obtenção de biodiesel com elevados rendimentos (Lino, 2019).

No entanto, a transesterificação catalisada por CaO é limitada em sua estabilidade. Estudos têm mostrado a deterioração da reatividade catalítica quando reutilizado por vários ciclos. Sua atividade catalítica é sensível em relação a umidade presente, a qual diminui a taxa de reação catalisada pelo CaO. Sua exposição prolongada ao ar provoca a adsorção de dióxido de carbono à sua superfície, desativando-o progressivamente, originando carbonatos e grupos hidróxidos (Basumatary et al., 2023; Ooi et al., 2021; Lino, 2019).

Widiarti et al. (2024) estudaram a atividade catalítica para a produção de biodiesel por transesterificação utilizando óleo de cozinha residual dos seguintes óxidos: CaO-MgO, MgO e CaO provenientes da calcinação direta do calcário. Além disso, os pesquisadores usaram como catalisador um CaO extraído do extrato de *Sapindus rarak*, uma planta nativa da Indonésia, como surfactante natural. A cristalização foi conduzida usando o método da co-precipitação para avaliar as alterações na morfologia do CaO. Os resultados revelaram como condições de transesterificação ótimas temperatura de 65°C, tempo de três horas, 5% de catalisador e razão molar metanol:óleo de 9:1. Os resultados mostraram rendimento máximo da transesterificação com a utilização do CaO preparado por co-precipitação

extraído da planta (92,40%), o que foi relacionado a pureza de 98% do catalisador produzido, a redução no tamanho das partículas e a estrutura com microcristalitos cúbicos uniformes das partículas que proporcionaram sítios ativos estáveis para a reação. O tamanho de partícula menor e uniforme aumentaram a área superficial do catalisador, aumentando os sítios ativos para a transesterificação. Além disso, as amostras de biodiesel produzidas apresentaram propriedades dentro das especificações da ASTM. Os rendimentos obtidos para a transesterificação com os catalisadores calcinados diretamente do calcário foram 49,52% (CaO-MgO), 56,61% (MgO) e 75,42% (CaO).

Outros catalisadores citados na literatura incluem os compostos dos quais o CaO pode ser obtido de diferentes biomassas, os quais incluem cálcio na forma de óxidos, alcóxidos, carbonatos, hidróxidos e outros materiais residuais naturais. Esses resíduos incluem cascas de ovos e lagosta, conchas de caracol, ostras e moluscos, ossos de galinha, peixe e outros animais, além de outras biomassas. As propriedades catalíticas para a obtenção de biodiesel são afetadas pelas temperaturas de calcinação desses resíduos naturais (Basumatary et al., 2023; Ooi et al., 2021; Das et al., 2020; Foroutan et al., 2020; Lin et al., 2020; Nurhayati et al., 2020; Bharti et al., 2019; Rahman et al., 2019).

Nurhayati et.al. (2020) utilizaram CaO proveniente da concha de moluscos como catalisador com a utilização de óleo de palma bruto para a transesterificação. O resíduo foi calcinado na temperatura de 900°C durante 5 horas, sendo o CaO obtido impregnado com ácido sulfúrico. A transesterificação foi realizada nas seguintes condições: razão molar álcool:óleo de 12:1, 3% de catalisador e duração de 3 horas. A transesterificação apresentou uma conversão em ésteres de 96,69%.

Foroutan et al. (2020) utilizaram o produto da calcinação da casca de ovo como catalisador. O resíduo foi calcinado na temperatura de 900°C durante 4 horas, produzindo a mistura de óxidos CaO/MgO. A transesterificação foi realizada com a utilização de óleo de cozinha residual nas seguintes condições: razão molar álcool:óleo de 16:1, 4,5% de catalisador e duração de 7 horas. A transesterificação apresentou uma conversão em ésteres de 98,30%.

Das et al. (2020) utilizaram como catalisador CaO proveniente da calcinação da casca de ovo modificada com nitrato de cobalto hidratado pelo método de co-precipitação. A casca de ovo foi calcinada na temperatura de 900°C durante 4 horas. A transesterificação foi realizada com a utilização de óleo de microalga, 1,5% de catalisador e duração de 4 horas. Os autores concluíram que o catalisador CaO-Co apresentou elevada atividade catalítica para a produção de biodiesel por transesterificação com conversão em ésteres de 98%.

Lin et al. (2020) utilizaram como catalisador CaO proveniente da calcinação da concha de ostras. A calcinação foi feita na temperatura de 1000°C durante 2 horas. A reação para a obtenção de biodiesel foi realizada com a utilização de óleo de cozinha residual com razão molar álcool:óleo de 9:1, 6% de catalisador e duração de 3 horas com sistema de aquecimento de microondas. A transesterificação apresentou uma conversão em ésteres de 87,30%. Os autores concluíram que a utilização de matérias-primas residuais poderão reduzir tanto os problemas de descarte de resíduos, como o custo de produção do biodiesel.

Revisão bibliográfica realizada por Basumatary et al. (2023) descreve biomassas ricas em cálcio que podem ser facilmente convertidas em catalisadores heterogêneos a base de CaO para a síntese de biodiesel por transesterificação. As biomassas citadas no artigo incluem cascas de ovos, lagosta, ostras e outros. Os resultados destas pesquisas revelaram elevados rendimentos na produção de biodiesel em condições experimentais ótimas. Os resultados também revelaram que a atividade catalítica depende da metodologia de preparo do catalisador. A modificação dos catalisadores à base de CaO pode ser feita usando métodos de incorporação, como por exemplo, de óxidos metálicos ou alcalinos. A modificação pode aumentar a estabilidade do catalisador, evitando a lixiviação. Além disso, o funcionalização com diferentes produtos químicos pode ajustar a acidez-basicidade dos sítios ativos e as propriedades texturais dos resíduos derivados da biomassa. Outros resultados revelaram que os catalisadores a base de nanopartículas de CaO apresentaram maior conversão em ésteres em comparação com CaO de tamanho maior. Os autores concluíram que os catalisadores derivados de óxido de cálcio a partir de biomassas podem ser utilizados como um produto sustentável e de baixo custo para a síntese de biodiesel em comparação com outros catalisadores heterogêneos comerciais.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Produção e fornecimento de biocombustíveis. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/apresentacao>. Acesso em 18 out. 2024.

Angilelli, K.B.; Silva, L.R.C.; Borsato, D.; Clemente, M.A.J.; Oliveira, T.F.; Savada, F.Y.; Chendynski, L.T. Otimização da produção de biodiesel utilizando mistura de catalisadores baseados em óxidos metálicos. 59º Congresso Brasileiro de Química. João Pessoa – PB, novembro 2019. Disponível em <https://www.abq.org.br/cbq/2019/trabalhos/9/724-14384.html>. Acesso em 18 out. 2024.

Barbosa, Carolina Marques. Estudo da produção de biodiesel obtido a partir de óleos vegetais utilizando catálise heterogênea. Trabalho de Conclusão de Curso Química Industrial, Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, Diadema – SP, 2021.

Bharti, P.; Singh, B.; Dey, R.K. Process optimization of biodiesel production catalyzed by CaO nanocatalyst using response surface methodology. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, v.9, p. 269–280, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40097-019-00317-w>.

Basumatary, F.S.; Brahma, S.; Hoque, M.; Das, B.K.; Selvaraj, M.; Brahma, S. Basumatary, S. Review. Advances in CaO-based catalysts for sustainable biodiesel synthesis. *Green Energy and Resources*, v.1, issue 3, september 2023.

Bueno, Lisandra Neri. Síntese e caracterização de catalisador heterogêneo para produção de biodiesel. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa – PR, 2019.

Cardoso, Thayssa Sales; Santos, Ronald Almeida; Costa, Rilder Tebias Toledo; Aviz, Emanuel Oliveira; Araújo, Josiney Farias; Silva, Arlesson Pereira; Freitas, Manolo Cleiton Costa; Correia, Leandro Marques. Uma revisão da utilização de catalisadores heterogêneos para a produção de biodiesel. A review of the use of heterogeneous catalysts for the production of biodiesel. *Brazilian Applied Science Review*, v. 4, n. 1, p. 240-276, 2020.

Cordeiro, Claudiney Soares, Silva, Fabiano Rosa; Wypych, Fernando; Ramos, Luiz Pereira. Catalisadores heterogêneos para a produção de monoésteres graxos (biodiesel). *Química nova*, v. 34, p. 477-486, 2011.

Costa, Patrícia Pinto Kalil Gonçalves. Catalisadores químicos utilizados na síntese de biodiesel. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Agroenergia. Brasília – DF, setembro 2011. ISSN 2177-4439.

Das, V.; Tripathi, A.M.; Borah, M.J.; Dunford, N.T.; Dekka, D. Cobalt-doped CaO catalyst synthesized and applied for algal biodiesel production. *Renew. Energy* 2020, 161, 1110–1119.

Eid, Janaina Guedes. Transesterificação heterogênea catalisada por sílicas contendo sítios básicos e cátions cetilvinilimidazólio. Tese de Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17129>.2022.

Foroutan, R.; Mohammadi, R.; Esmaeili, H.; Mirzaee Bektashi, F.; Tamjidi, S. Transesterification of waste edible oils to biodiesel using calcium oxide magnesium oxide nanocatalyst. *Waste Manag.* 2020, 105, 373–383.

Lima, Francisco Cleudio Aguiar. Produção de biodiesel a partir de óleo de macaúba usando como catalisador óxido misto de alumínio e estanho. Dissertação de Mestrado em Tecnologias Química e Biológica, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2018.

Lin, Y.C.; Amesho, K.T.T.; Chen, C.E.; Cheng, P.C.; Chou, F.C. A cleaner process for green biodiesel synthesis from waste cooking oil using recycled waste oyster shells as a sustainable base heterogeneous catalyst under the microwave heating system. *Sustain. Chem. Pharm.* 2020, 17, 100310.

Lino, Catarina Isabel dos Santos. Desenvolvimento de catalisadores heterogêneos nanoestruturados para produção de biodiesel. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química e Biológica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2019.

Nurhayati; Amri, T.A.; Annisa, N.F.; Syafitri, F. The Synthesis of Biodiesel from Crude Palm Oil (CPO) using CaO Heterogeneous Catalyst Impregnated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Variation of Stirring Speed and Mole Ratio of Oil to Methanol. *J. Phys. Conf. Ser.* 2020, 1655.

Ooi, H.K.; Koh, X.N.; Ong, H.C.; Lee, H.V.; Mastuli, M.S.; Taufiq-Yap, Y.H.; Alharthi, F.A.; Alghamdi, A.A.; Mijan, N.A. Review Progress on Modified Calcium Oxide Derived Waste-Shell Catalysts for Biodiesel Production. *Catalysts*, v.11, n.2, p.194, 2021. <https://doi.org/10.3390/catal11020194>.

Orsi, Helena Medeiros. Tecnologias de produção de biodiesel: uma revisão. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos – SP, 2021.

Perez, Rodolfo Salazar; Tapanes, Neyda de La Caridad Om; Feliciano, Carlos Adão Rockert; Diaz, Gisela Chenard; Gaidzinski, Roberta; Macedo, Maria Iaponeide Fernandes; Aranda, Donato Alexandre Gomes. Óxidos Metálicos tipo espinélio como catalisadores na produção de Biodiesel a partir de óleo e gordura residual. *Acta Scientiae et Technicae*, v.4, n.2, 2016. <https://doi.org/10.17648/uezo-ast-v4i2.128>

Prado, Roberta Gomes. Catalisadores heterogêneos derivados de hidróxidos duplos lamelares de Mg-Al e Ca-Al em reações de transesterificação para a produção de biodiesel. Tese de Doutorado em Ciências – Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG, 2016.

Rahman, W.U.; Fatima, A.; Anwer, A.H.; Athar, M.; Khan, M.Z.; Khan, N.A.; Halder, G. Biodiesel synthesis from eucalyptus oil by utilizing waste egg shell derived calcium based metal oxide catalyst. *Process. Saf. Environ. Prot.* 2019, 122, 313–319.

Ramos, Luiz P; Silva, Fabiano R.; Mangrich, Antonio S.; Cordeiro, Claudiney S. Tecnologias de produção de biodiesel. *Revista virtual de química*, v. 3, n. 5, p. 385-405, 2011.

Rocha, Bárbara Gonçalves; Cavalcante, Luis Carlos Duarte; Ferraz, Vany Perpétua; Pedrosa, Tércio Assunção; Ardisson, José Domingos; Fabris, José Domingos. Minério de nióbio como catalisador para produção de biodiesel. 73º Congresso Anual da ABM, ABM Week, São Paulo – SP, outubro 2018.

Shine, Luiza Sanae. Revisão crítica de técnicas para estudo de propriedades ácido-base de catalisadores heterogêneos. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, São Paulo, 2022.

Sousa, Amanda Soares.  $\alpha$ -MoO<sub>3</sub> obtido pelo método Pechini modificado para aplicação como catalisador nas reações de transesterificação e esterificação. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Rio Grande do Norte, 2023.

Widiarti N.; Holilah, H.; Bahruji, H.; Nugraha, R.E.; Suprpto, S.; Ni'mah, Y.L.; Prasetyoko, D. Coprecipitation and hydrothermal synthesis of CaO from dolomite in the presence of *Sapindus rarak* extract for biodiesel production: catalysts characterization and optimization. *Royal Society of Chemistry Advances*, v.14, issue 32, July 2024, p.23332-23340.

# SISTEMA AUTOMATIZADO INTEGRADO À IOT PARA GESTÃO DE MEDICAÇÃO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430103>

Data da submissão: 30/10/2024

Data de aceite: 04/11/2024

**Eric Rennan Santos Melo**

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

**Larissa Fernandes Melo**

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

**Leonardo Segantin de Souza**

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

**Michel Nunes Mariano**

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

**Vitor Hugo Borges**

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU

**Rogério Luis Spagnolo da Silva**

Departamento de Engenharia, Faculdades  
Metropolitanas Unidas – FMU Professor  
nos cursos de Engenharia Elétrica e de  
Controle e Automação, São Paulo, SP

**RESUMO:** No projeto apresentado foi desenvolvido um protótipo de um sistema automatizado para gestão de medicamentos para pacientes que realizam tratamentos com vários fármacos diários. Baseado em alguns estudos e em análise de casos, o sistema foi idealizado de forma a trazer

uma solução prática, portátil e conectada à nuvem. A interface de supervisão responsável por armazenar e apresentar os dados do projeto é o *Blynk App*® que, através do módulo ESP8266 permite conexão sem fio com o microcontrolador Arduino Uno que coordena e gerencia a medicação de acordo com o perfil do paciente e seu tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão de medicamentos, Sistema automatizado, *IoT*.

## AUTOMATED SYSTEM INTEGRATED TO IOT FOR MEDICATION MANAGEMENT

**ABSTRACT:** In the project presented, a prototype of an automated system for medication management was developed for patients who undergo treatments with several daily drugs. Based on some studies and case analysis, the system was designed to provide a practical, portable, and cloud-connected solution. The supervision interface responsible for storing and presenting the project data is the *Blynk App*® which, through the ESP8266 module, allows wireless connection with the Arduino Uno microcontroller that coordinates and manages the medication according to the patient's profile and their treatment.

**KEYWORDS:** Medication Management, Automated System, *IoT*.

## INTRODUÇÃO

### MOTIVAÇÃO

Este projeto tem como intuito contribuir com uma opção de baixo custo automatizada para gestão de medicamentos para pacientes que necessitam ingerir vários fármacos diários de maneira a assegurar a eficácia do tratamento prescrito.

### OBJETIVO

Desenvolvimento de um protótipo de um sistema simples e prático para auxiliar na ingestão de medicamentos para pacientes que apresentam dificuldades em gerenciar o seu próprio consumo baseado na prescrição médica e dentro dos horários com a dosagem apropriada.

### JUSTIFICATIVA

Segundo Secoli (2010), a polifarmácia pode ser definida como o uso de cinco ou mais medicamentos e pode apresentar dois grandes riscos aos pacientes: reações adversas aos medicamentos ou em consumo de dosagens diferentes do prescrito.

Um estudo realizado no Brasil por Rocha *et al* (2008) verificou que 33,4% dos pacientes entrevistados deixaram de seguir a prescrição pelo esquecimento e 25% dos pacientes por descuido com os horários de ingestão. Isto implica em número alarmantes, em especial para o público idoso, cujo consumo diário típico é em torno de 5 fármacos diários.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### POLIFARMÁCIA

A humanidade sempre busca formas de desenvolver tecnologias com o propósito de aumentar o seu bem-estar e graças a estes avanços, existem medicamentos que podem mitigar e controlar múltiplas patologias e contribuir com a qualidade de vida e longevidade.

O aumento da população idosa sinaliza a preocupação com a qualidade desse processo de envelhecimento, visto que é marcado por profundas mudanças no perfil de saúde. Neste contexto, surge o conceito de polifarmácia, por haver uma maior incidência e prevalência de patologias crônicas entre pessoas idosas (SANTOS, M., ALMEIDA, A., 2010).

# INTERNET DAS COISAS (IoT)

De acordo com LEITE *et al* (2017) “O conceito de Internet das Coisas (IoT, do inglês Interne of Things) foi introduzido por Kelvin Ashton em 1999 como resultado de sua pesquisa para utilizar etiquetas eletrônicas RFID na cadeia de produção. ”. Graças à revolução que a “Indústria 4.0” causou, pode-se dizer que o termo *IoT* é a abrangência de tudo que pode se conectar à internet, ou seja, é a interação entre os dispositivos conectados à rede internet através do compartilhamento de dados.

## PROBLEMA

A ausência de um equipamento automatizado eficiente, conectado à internet que permita controlar e monitorar a ingestão de vários fármacos diários de acordo com a prescrição médica por pacientes que realizam tratamento de uso contínuo.

## METODOLOGIA

Alinhado ao contexto de polifarmácia no publico idoso, o protótipo foi desenvolvido para controlar de maneira automatizada quais os farmacos que devem ser ingeridos em cada momento do dia.

Tanto um cuidador quanto o próprio paciente podem monitorar a partir de um aplicativo para dispositivo móvel, em tempo real, a regularidade da ingestão do medicamento com data e horário.

Com isto, espera-se que haja uma diminuição da ineficácia do tratamento devido à má administração dos medicamentos. Inclusive, tal metodologia apresentada por este protótipo, pode estender a sua aplicação em residencias e em casas de repouso para idosos.

Para aplicação e obtenção dos resultados e para realizar comparativos com as soluções existentes no mercado, foi aplicado uma pesquisa experimental seguida por testes no protótipo considerando os critérios funcionais apresentados na **Tabela 1**:

Acesso apenas a um remédio
Precisão de dosagem
Conectividade
Automático
Estoque de pílulas
Interface direta com o usuário
Portátil

Tabela 1 – Critérios funcionais do protótipo.

Fonte: Próprios Autores, 2024.



# ESTRUTURAÇÃO, DESENVOLVIMENTO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A estruturação para desenvolvimento do sistema de gestão de medicamentos é ilustrada pelo fluxograma **Figura 1**:

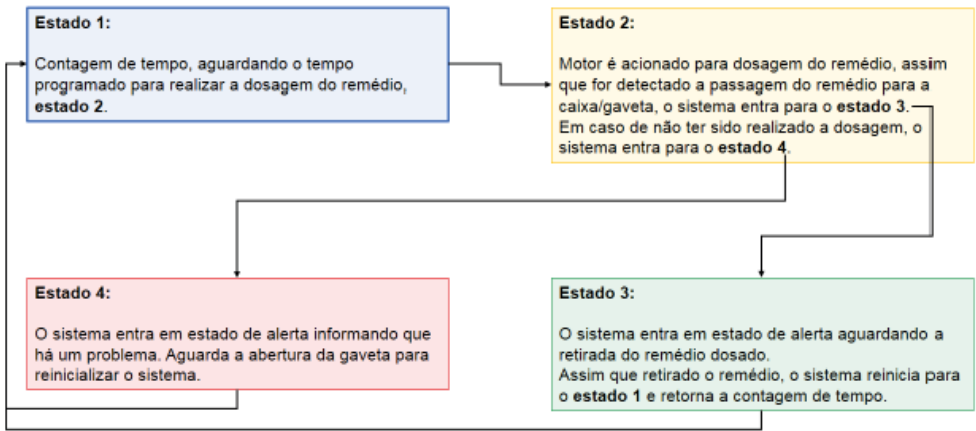


Figura 1 – Fluxograma principal do protótipo.

Fonte: Próprios Autores, 2024.

A arquitetura de conectividade do Arduino Uno com o *Blynk App*<sup>®</sup>; é ilustrada na **Figura 2**:

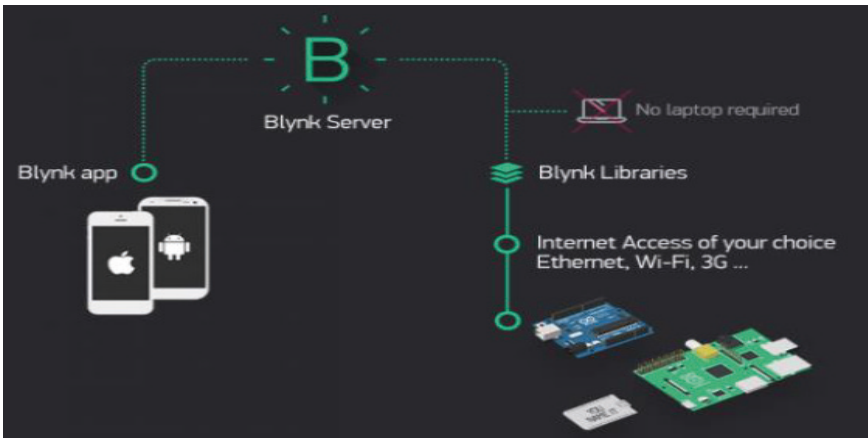


Figura 2 – Arquitetura de conectividade do protótipo.

Fonte: Blynk, 2024.

A programação para desenvolvimento do sistema de gestão de medicamentos foi concebida em cinco **Estados**. O **Estado Inicial** corresponde à compilação junto ao protótipo e no display ilustrar: **E0 Programando**, conforme ilustra a **Figura 3**, diretamente no protótipo:



Figura 3 – Estado Inicial no protótipo.

Fonte: Próprios Autores, 2024.

No **Estado 1**, o sistema inicia a contagem de tempo, aguardo o tempo programado para realizar a dosagem do medicamento, conforme ilustra a **Figura 4**:

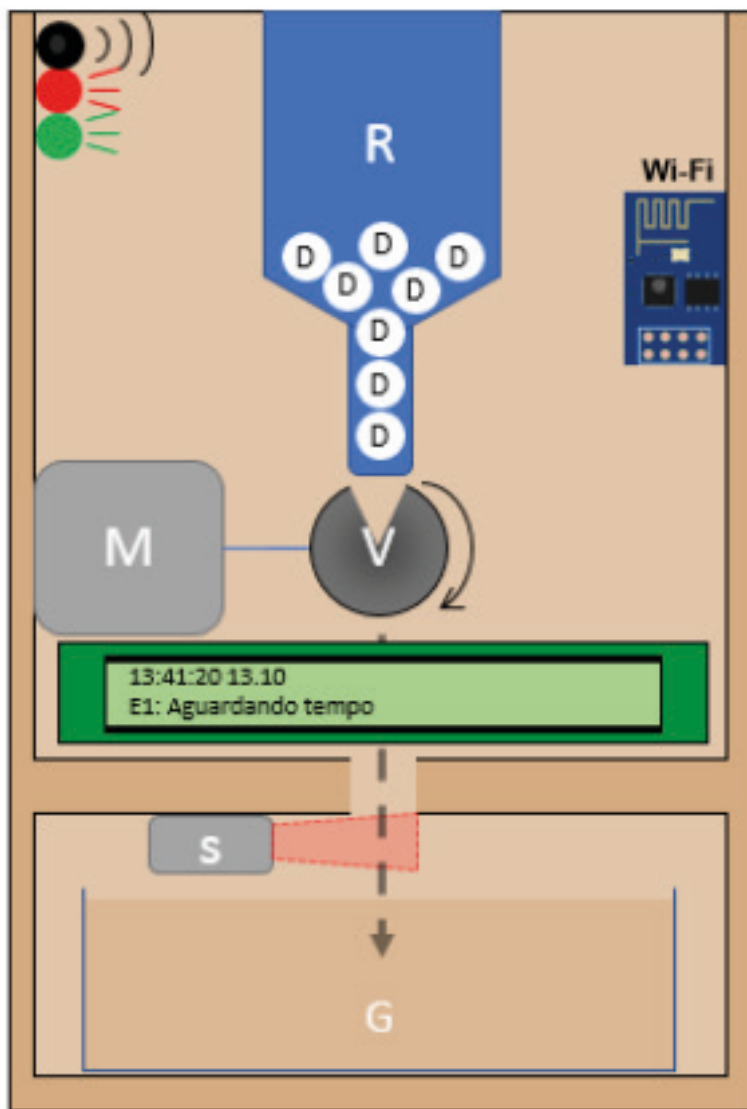


Figura 4 – Estado 1 – Aguardando tempo.

Fonte: Próprios Autores, 2024.

No **Estado 2**, o conjunto de motor de passo com driver é acionado para dosagem do remédio, e assim que detectado pelo sensor de obstáculo a passagem para o compartimento (gaveta), o sistema entra no **Estado 3**.

O motor de passo utilizado foi o modelo **FL39ST38-0806A**, cujas características elétricas, dimensões, torque e inércia de rotor são apresentadas na **Figura 5**:

● Size 39mm Hybrid Stepping Motor Specifications

Model No.		Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Detent torque	Length
Single shaft	Double shaft	V	A	$\Omega$	mH	g-cm		g-cm <sup>2</sup>	kg	g-cm	mm
FL39ST20-0404A	FL39ST20-0404B	2.64	0.4	6.6	7.5	650	4	11	0.12	50	20
FL39ST20-0506A	FL39ST20-0506B	6.5	0.5	13	7.5	800	6				
FL39ST34-0404A	FL39ST34-0404B	12	0.4	30	32	2100	4	20	0.18	120	34
FL39ST34-0306A	FL39ST34-0306B	12	0.3	40	20	1300	6				
FL39ST38-0504A	FL39ST38-0504B	12	0.5	24	45	2900	4	24	0.2	180	38
FL39ST38-0806A	FL39ST38-0806B	6	0.8	7.5	6	2000	6				
FL39ST44-0304A	FL39ST44-0304B	12	0.3	40	100	2800	4	40	0.25	250	44

● Dimension

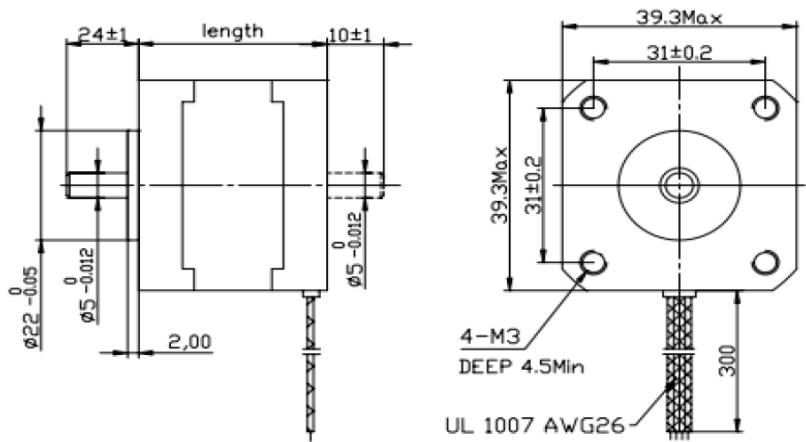


Figura 5 – Características do motor de passo modelo FL39ST38-0806A.  
 Fonte: MANTECH, 2024.

O driver para o motor de passo utilizado foi o modelo A4988, desenvolvido para micro passos e controle de passos bipolares. A tensão de operação lógica do driver é de 3...5,5V. Este driver é capaz de controlar motores com até 1/16 passos, na faixa de 8...35V e 2A por bobina (picos de 4A).

Suas características são apresentadas na **Figura 6**:

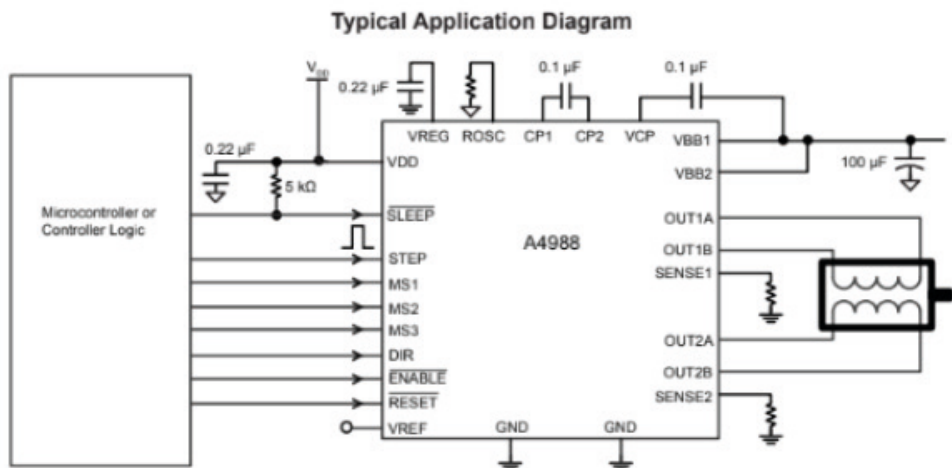


Figura 6 – Características do motor de passo modelo A4988.

Fonte: POLOLU, 2024.

No **Estado 3**, o sistema entra em estado de alerta acionando o módulo sonoro e piscando a cada cinco segundos uma sinalização em LED verde, aguardando a retirada do medicamento dosado.

Assim que o medicamento for retirado do compartimento, o sensor magnético modelo **MC-38** ilustrado pela **Figura 7** identifica que o mesmo foi retirado e reinicia para o **Estado 1**, retornando assim a contagem de tempo definido para a próxima dosagem.

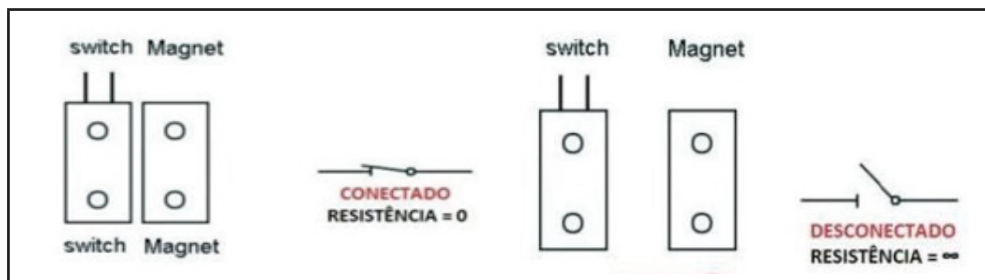


Figura 7 – Características do sensor magnético modelo MC-38.

Fonte: Próprios Autores, 2024.

Por fim, no último **Estado**, o **Estado 4**, o sistema entra em estado de alerta informado que há um problema, caso o medicamento não for retirado após entrar no **Estado 3**, dosado, conforme ilustra a **Figura 8**:



Figura 8 – Estado 4 – Erro.

Fonte: Próprio Autor, 2024

Para definição de data e horário para dosagem do medicamento, utilizou-se o módulo *RTC* (*Real Time Clock*) **modelo DS1307**, com 56 bytes de *SRAM* e capaz de fornecer informações como segundo, minutos, dia, data, mês e ano. A **Figura 9** ilustra o diagrama esquemático do *RTC*:

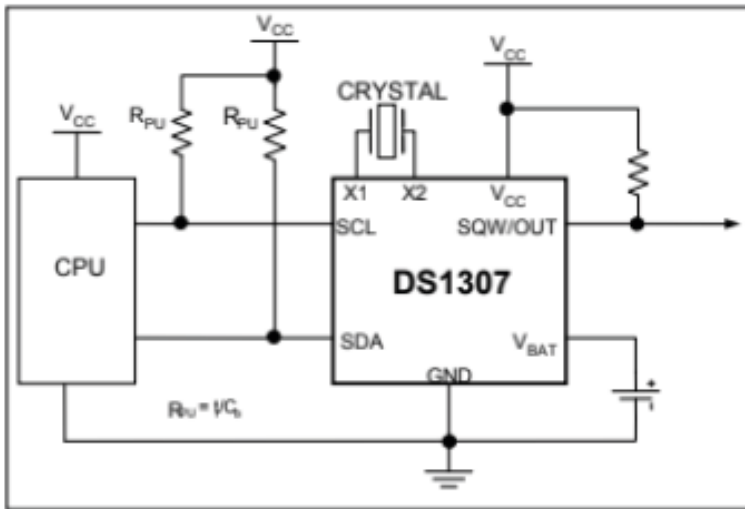


Figura 9 – Diagrama Esquemático do Módulo RTC DS1307.

Fonte: Maxim Integrated, 2024.

Para comunicação sem fio entre o Arduino Uno e a interface de supervisão responsável por armazenar e apresentar os dados do projeto, o *Blynk App*®, utilizou-se o módulo ESP8266. A **Figura 10** ilustra seu diagrama esquemático:

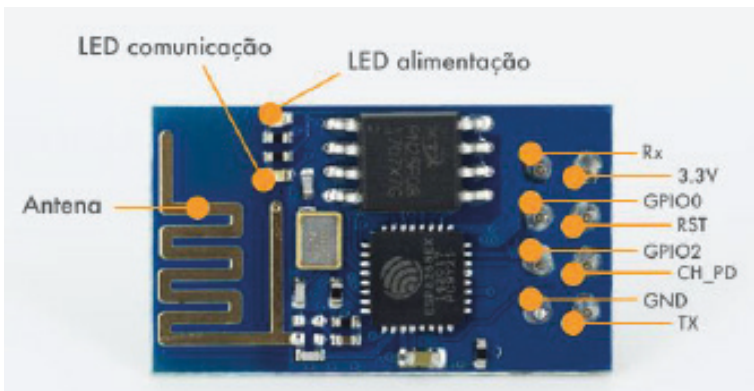


Figura 10 – Diagrama Esquemático do Módulo ESP8266.

Fonte: Espressif, 2024.

A aplicação desenvolvida para controle e monitoramento em tempo real no *Blynk App*® ilustra como um temporizador para que o paciente possa definir o horário de cada medicamento a ser ingerido, conforme ilustra a **Figura 11**:



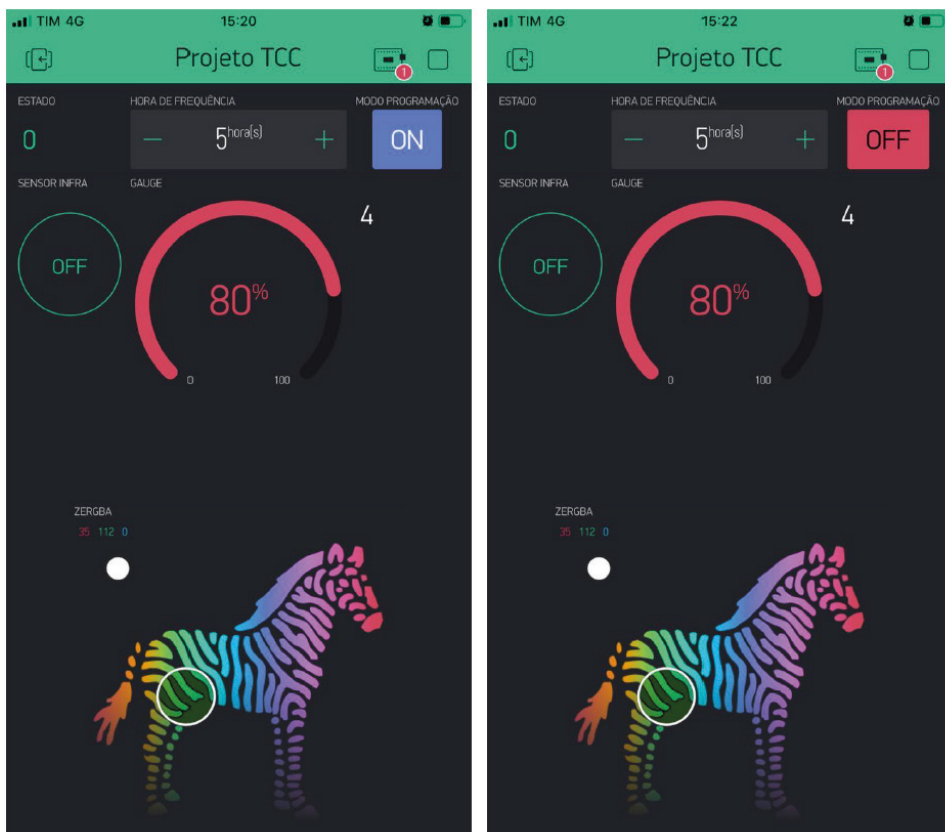


Figura 11 – Desenvolvimento no *Blynk App®*.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

No **Modo ON**, o sistema entra em modo de programação, onde a temporização é congelada e o protótipo aguarda a determinação do tempos e demais parâmetros. No **Modo OFF**, o sistema reconhece que o mesmo está em **Estado Normal**, começando a temporização determinada e realiza cada **Estado** apresentado, conforme fluxo apresentado.

## RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos testes funcionais no protótipo apresentados na **Tabela 1**, foram obtidos resultados satisfatórios, demonstrando controle eficiente de acesso e dosagem dos medicamentos conforme prescrição médica e à estocagem de pílulas, conforme ilustra a **Tabela 2**:



	Projeto desenvolvido	Smart Kit	Memo box
Acesso apenas a um remédio	Sim	Sim	Não
Precisão de dosagem	Sim	Não	Não
Conectividade	Sim	Sim	Sim
Automático	Sim	Não	Sim
Estoque de pílulas	Sim	Não	Não
Interface direta com o usuário	Sim	Sim	Não
Portátil	Sim	Não	Sim

Tabela 2 – Comparativos funcionais do protótipo com dispositivos de mercado.

Fonte: Próprios Autores, 2024.

Destacaram-se também durante os testes, a exatidão referente aos horários programados para uso e a conectividade em nuvem para o uso. Comparando com os dispositivos já existentes no mercado, a interface com o usuário pelo *Blynk App*<sup>®</sup> trouxe um diferencial ao protótipo para torna-lo viável para desenvolvimento em larga escala.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos dentro dos critérios de funcionalidade atingiram o propósito deste trabalho em promover uma solução de baixo custo para controle automatizado de gestão de medicamentos para os casos polifármacos.

Por tratar-se de um protótipo de baixo custo, os materiais utilizados não seguem estritamente as recomendações de órgãos regulamentadores de hospitais, clínicas e laboratórios, que realizam a inspeção da qualificação dos prestadores de serviços de saúde.

Para produção em larga escala (comercial), o protótipo possui algumas oportunidade de melhorias a serem explanadas, das quais se destacam:

- Autonomia do sistema: implementar sistema de alimentação por bateria;
- Otimizar a sincronização de dados com o *Blynk App*<sup>®</sup>;
- Aumentar a capacidade do reservatório dos medicamentos;
- Otimizar o sistema de detecção de passagem do medicamento, melhorando a precisão da dosagem.

## BIBLIOGRAFIA

A4988. **POLULU.**, 2024. Disponível em: < <https://www.tme.com/br/pt/details/pololu-2980/modulos-reguladores-de-motor/pololu/a4988-stepper-motor-driver-carrier/>>. Acesso em: 12/05/2024.

Blynk. **Blynk I/O.**, 2022. Disponível em: < <https://blynk.io/>>. Acesso em: 17/05/2024.

DS1307. **Maxim Integrated.**, 2022. Disponível em: < <https://www.digikey.com.br/pt/ptm/m/maxim-integrated/ds1307-real-time-clocks>>. Acesso em: 17/05/2024.

ESP8266. **Espressif.**, 2024. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>>. Acesso em: 17/05/2024.

FL39ST38-0806A. **Mantech.**, 2022. Disponível em: <<https://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/FL39ST.pdf>>. Acesso em: 17/05/2024.

LEITE, J.R.E; MARTINS, Paulo.S; URSINI, Edson.L. **A internet das coisas (IoT) : Tecnologias e Aplicações.** Brazilian Technology Symposium, Limeira-SP, 2017. Disponível em: <<https://www.lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-17/Papers/76926.pdf>>. Acesso em: 17/05/2024.

SANTOS, M., ALMEIDA, A. **Polimedicação no idoso.** Revista de Enfermagem. III Série, Brasília, nº1, p. 149-162, 2010.

SECOLI, S.R. **Polifarmácia: interações e reações adversas no uso de medicamentos por idosos.** Revista Brasileira de Enfermagem, v.63, Brasília, nº1, p. 136-140, 2010.

ROCHA, C.H., OLIVEIRA, A.P.S., FERREIRA, C., FAGGIANI, F.T., SCHOETER, G., SOUZA, A.C.A. **Adesão à prescrição médica em idosos de Porto Alegre.** Ciência & Saúde, Rio Grande do Sul, 2008.

# A IMPORTÂNCIA DA PLATAFORMA INSTAGRAM PARA A DISSEMINAÇÃO DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL ATRAVÉS DO NÚCLEO DE SANEAMENTO E ECONOMIA AMBIENTAL (NUSEA)



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430104>

*Data de aceite: 06/11/2024*

**Emerson Lira Freire**

<http://lattes.cnpq.br/2029026115034784>

**Eduardo Vale Teixeira**

<http://lattes.cnpq.br/2770385988585210>

**Denilson Gualberto de Sousa**

<http://lattes.cnpq.br/7829053786063031>

**Sanara de Sousa Ribeiro**

<http://lattes.cnpq.br/6507657433345231>

**Maria Izabel de Almeida Leite**

<http://lattes.cnpq.br/1366599503591295>

**Livia Maria de Soares Queiroga**

<http://lattes.cnpq.br/2254435299034192>

**Géssica Tamyres Ferreira da Silva**

<http://lattes.cnpq.br/6497607876689601>

**Brenda Carla Rosendo Martins**

<http://lattes.cnpq.br/2609913652890051>

**Andréa Maria Brandao Mendes de Oliveira**

<http://lattes.cnpq.br/7363025139137477>

**Luiz Fernando de Oliveira Coelho**

<http://lattes.cnpq.br/1745613417742413>

**RESUMO:** A Educação Ambiental é considerada crucial para enfrentar desafios como a degradação ecológica e as alterações climáticas, conforme a Lei 9795/1999 do Brasil, que define a EA como processos que desenvolvem habilidades e conhecimentos voltados para a preservação ambiental. A pesquisa foi realizada através de postagens educativas em formatos variados, como carrosséis, reels e stories, abordando temas como legislação ambiental e gestão de resíduos. Os resultados mostraram que, embora o alcance e o engajamento variem, o Instagram se provou eficaz para disseminar informações ambientais e engajar novos públicos. O estudo reforça a importância de estratégias visuais e interativas na promoção da EA, destacando o potencial do Instagram para ampliar a conscientização ambiental e integrar ciência e sustentabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conscientização Ambiental; Educação Digital; Sustentabilidade.

## THE IMPORTANCE OF THE INSTAGRAM PLATFORM FOR THE DISSEMINATION OF ENVIRONMENTAL EDUCATION THROUGH THE SANITATION AND ENVIRONMENTAL ECONOMY CENTER (NUSEA)

**ABSTRACT:** Environmental education is considered crucial to tackling challenges such as ecological degradation and climate change, according to Brazilian Law 9795/1999, which defines environmental education as processes that develop skills and knowledge aimed at environmental preservation. The research was carried out using educational posts in a variety of formats, such as carousels, reels and stories, covering topics such as environmental legislation and waste management. The results showed that, although reach and engagement varied, Instagram proved to be effective in disseminating environmental information and engaging new audiences. The study reinforces the importance of visual and interactive strategies in promoting environmental education, highlighting the potential of Instagram to raise environmental awareness and integrate science and sustainability.

**KEYWORDS:** Environmental Awareness; Digital Education; Sustainability.

### INTRODUÇÃO

Diante aos aumentos dos desafios ambientais como a degradação ecológica e as alterações climáticas, é de suma importância que as estratégias de sensibilização e educação cheguem a um público amplo e diversificado, principalmente pela necessidade de conscientização torna-se cada vez mais urgente, especialmente em uma sociedade no qual, não compreende completamente os efeitos da degradação dos recursos naturais que são utilizados sem levar em consideração a importância do desenvolvimento sustentável (Gonçalves et al., 2022).

De acordo com a Lei 9795/1999, Art. 1º (Brasil, 1999), a Educação Ambiental (EA) é definida como os processos pelos quais indivíduos e grupos desenvolvem valores, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a preservação ambiental. Dessa forma, a educação não é apenas um direito fundamental do cidadão, mas também uma necessidade imperativa para enfrentar os desafios ambientais atuais. Nesse sentido, ao tratar-se de estratégias de sensibilização e educação, as redes sociais são consideradas grandes difusores de conhecimentos, para Pantoja e Ferreira (2000), o surgimento da Internet trouxe grandes transformações em diversas áreas, seja na educação e entretenimento ou nas abrangências do trabalho e comércio.

De acordo com Sousa et al. (2021), as redes sociais têm a capacidade de apoiar diversas atividades, uma vez que permitem encontrar uma ampla gama de conteúdos através de uma simples pesquisa. Dentre as redes sociais o Instagram, constitui uma das plataformas de grande importância quando se trata de atingir o objetivo educacional, devido à sua capacidade de envolver visualmente os utilizadores e facilitar a distribuição de informação de forma dinâmica e acessível, e sua importância se torna ainda mais evidente quando se trata de Educação Ambiental (EA).

Segundo Alves, Mota e Tavares (2018), o Instagram ou *Insta*, que surgiu no ano de 2010, propiciou novas práticas de leitura e uma redefinição de formas de difundir conhecimentos e encontros colaborativos, tal fator se dá por o mesmo ser uma rede social *online* voltada a comunicação e autoria visual. Ao olhar, reagir ou responder comentários das publicações, a uma conexão entre o usuário/emissor e o seguidor/leitor, ou seja além do ensino-aprendizagem, os seguidores aumentam a visibilidade dos posts do usuário através do engajamento/interação nos posts.

O Núcleo de Saneamento e Economia Ambiental (NUSEA) grupo de pesquisa reconhecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) da Universidade Federal de Campina Grande, *campus* Pombal-PB, utilizam esta plataforma para compartilhar informações sobre práticas sustentáveis, projetos de saúde e temas relacionados à economia e sustentabilidade ambiental, através de suas postagens ou Posts como são chamados. Ademais, essas postagens visam não só informar, mas também estimular a interação e o engajamento entre os seguidores, ampliando assim o impacto das mensagens educativas.

Com isso, o objetivo do artigo é avaliar, o aplicativo Instagram como uma ferramenta eficaz para a divulgação científica na área de Educação Ambiental (EA), explorando diferentes aspectos do ensino e integrando Ciência, Tecnologia, Sustentabilidade, Sociedade e Ambiente, através do NUSEA, no qual, utiliza essa plataforma para promover uma educação ambiental mais consciente e crítica, contribuindo para a divulgação da conscientização ambiental.

## METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada através do aplicativo Instagram, sendo usada a conta pessoal do grupo de pesquisa NUSEA. O grupo está situado na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), essencialmente no laboratório de análises de água, no qual, vem desenvolvendo pesquisas científicas e extensões, bem como divulgações do curso e de áreas afins. O *campus* da UFCG encontra-se localizado no município de Pombal, na Paraíba, que se encontra na mesorregião do Sertão Paraibano, com um território equivalente a 894,099 km<sup>2</sup>, a cidade está aproximadamente a 380 km da capital do estado, João Pessoa, contendo uma população equivalente a 32.473 habitantes, segundo os dados do IBGE (2022). Na Figura 1, é mostrado o mapa que indica a localização e limite do município de Pombal-PB. Ao lado, está o campus onde o Laboratório de Análises de Água se encontra.

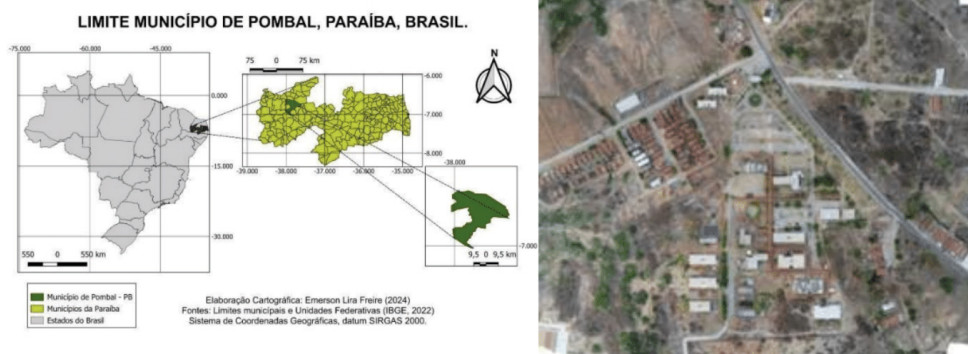


Figura 1 - Mapa de localização do município de Pombal-PB e Marcação da área UFCG campus Pombal.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Objetivando avaliar a capacidade de divulgação de informações, foram feitas postagens como posts em carrossel, reels, stories, das divergentes áreas do meio ambiente através da plataforma, abordando os principais conceitos e princípios, por meio dele com enfoque a conduzir uma Educação Ambiental (EA) para todos. As postagens foram elaboradas visando analisar as interações ao decorrer de uma semana, totalizando 5 postagens, com cronograma feito para que a publicação ocorresse em horário com maior pico de acesso à rede. O método utilizado para alcançar esse objetivo seguiu uma percepção adequada para a comunicação dos públicos visitantes.

Uma vez que, a UFCG conta com cerca de 623 alunos ativos, sendo eles 76 de Engenharia Ambiental, 205 de Agronomia, 232 de Engenharia Civil e 110 de Engenharia de Alimentos, foi utilizado também como rede de compartilhamento a plataforma do Whatsapp, visando aumentar o engajamento e de induzir o público a conhecer o grupo de pesquisa e as mais diversas áreas relacionadas a (EA), além de integrar as informações de forma abrangente e educativo tanto para os alunos do campus e suas respectivas áreas de engenharia, quanto o público em geral.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram publicados cinco conteúdos educativos no feed, sendo dois em formato reels, dois posts carrossel e um Quiz nos Stories com enquete ilustrativa. O perfil Nusea, no Instagram, atualmente conta com 178 seguidores (Figura 2), com base nas informações obtidas nos Insights, ferramenta do aplicativo que permite rastrear o crescimento, engajamento e interação das publicações, pode-se acompanhar o desempenho de cada publicação.

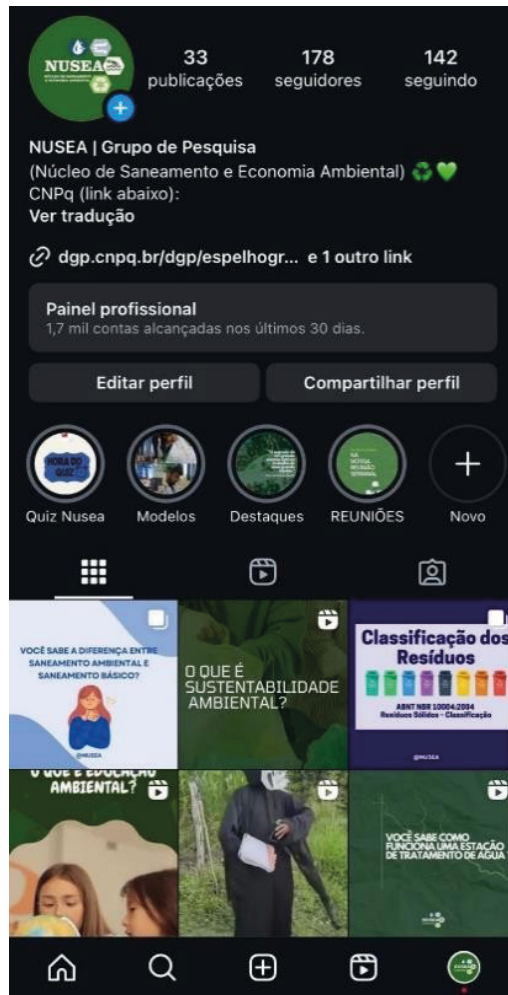


Figura 2- Captura de tela do perfil do Nusea no Instagram

Fonte: arquivo pessoal

A primeira publicação ocorreu em formato reels, com o tema “Você sabe o que é Educação Ambiental?”, neste post (Figura 3) o objetivo foi abordar o conceito de educação ambiental e a Lei nº 9.795/99 que institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Ela estabelece diretrizes para a promoção da educação ambiental em diversos níveis de ensino e em diferentes esferas da sociedade.



Figura 3- Publicação “você sabe o que é Educação Ambiental?”.

O conteúdo publicado teve um bom desempenho em termos de interações, refletindo um bom engajamento dos usuários, tanto seguidores quanto não seguidores. Com 1.300 visualizações, o vídeo alcançou 917 contas (Figura 4A), das quais 9,5% são seguidores e 90,5% não seguidores (Figura 4B), vale destacar que, entendendo a relevância do tema, o alcance do post com contas novas, corrobora com o intuito da disseminação de informações através da plataforma.



Figura 4- Gráfico do Alcance e visualizações (A) da publicação e a porcentagem de seguidores e não seguidores que visualizaram (B).



A segunda publicação foi em formato post carrossel, que consiste em uma série de imagens ilustrativa com o tema “Classificação dos Resíduos”, abordando o conceito de acordo com as normas ABNT NBR 10004:2024. Através do conteúdo publicado, pode observar um desempenho interessante em termos de interações, refletindo um bom engajamento dos usuários, tanto seguidores quanto não seguidores. Com um alcance de 530 contas, 734 impressões (Figura 5A), sendo 82,5% não seguidores e 17,5% seguidores (Figura 5B).

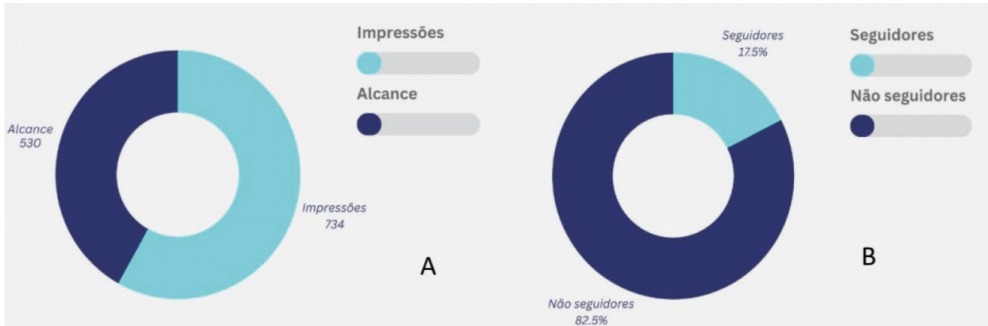
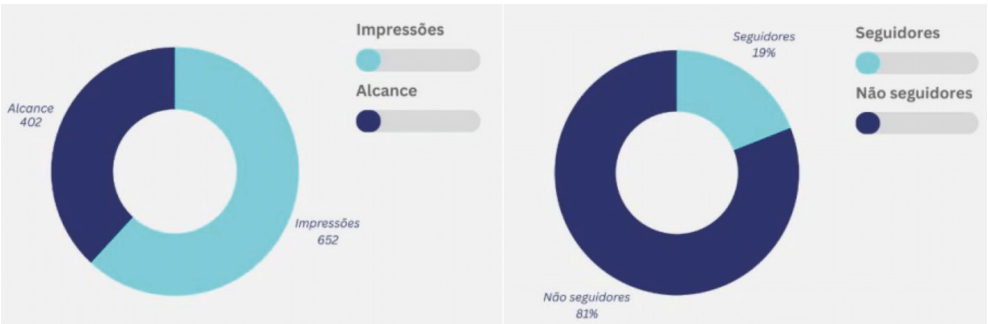


Figura 5 – Gráficos referente a publicação intitulada “Classificação dos resíduos”.

Vale ressaltar que, quando comparada com a primeira publicação, houve uma redução em torno de 55%, passando de 970 contas alcançadas para 530, no entanto pode-se destacar que mesmo havendo essa redução, se tratando de contas, a maior parte refere-se aos usuários classificados como não seguidores, demonstrando que o conteúdo repassado está abrangendo de fato contas além dos seguidores do Nusea.

O tema “Sustentabilidade Ambiental” foi abordado na terceira publicação, em formato de Reels, onde foi abordado o conceito, sua área de abordagem, objetivos e os benefícios. O conteúdo publicado obteve um bom desempenho em termos de interações, refletindo um bom engajamento dos usuários, tanto seguidores quanto não seguidores. A mesma, obteve um alcance de 402 contas com 652 visualizações (Figura 6A), das contas alcançadas 81% não seguidores e 19% seguidores (Figura 6B).



O tema “Você sabe a diferença entre Saneamento Ambiental e Saneamento Básico?”, foi abordado na quarta publicação no feed em formato post carrossel, que consiste em uma série de imagens ilustrativa onde foi abordado o conceito de acordo com a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. O conteúdo publicado obteve o maior desempenho em termos de interações, refletindo um bom engajamento dos usuários, tanto seguidores quanto não seguidores. Com um alcance de 1051 contas, 1340 impressões, sendo 91,2% não seguidores e 8,8%.



Por fim, a última publicação foi um Quiz nos Stories de uma enquete ilustrativa com o tema “Classificação dos Resíduos” com o intuito de interagir com os seguidores de forma descontraída, nele foram colocados enquetes sobre a classificação dos resíduos sólidos e seu descarte de acordo com as cores de seus respectivos recipientes, permanecendo por exatamente 24 hrs. O conteúdo publicado teve um desempenho com um alcance de 58 contas, 79 impressões (Figura 7A), sendo 3,4% não seguidores e 96,6% seguidores do perfil (Figura 6A).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, o grupo de pesquisa NUSEA objetiva de forma clara e simples transmitir o conhecimento científico, buscando novas maneiras práticas de ensino aprendizagem, como forma extensionista, levando conhecimento e suas pesquisas para além da universidade. Ademais, pode-se afirmar que, com o uso das redes sociais, o grupo permite se conectar ao usuário de forma a aproximá-las da temática instigando-as a serem mais conscientes e preocupadas com o meio ambiente. Isso, porque a educação ambiental desempenha um papel crucial na construção de um futuro sustentável e equilibrado.

Sendo assim, através das publicações, pode-se observar boa interação dos usuários, levando não só informações de temáticas relevantes, mas também reflexões sobre os impactos que determinadas ações podem causar ao meio ambiente, afetando de maneira significativa âmbitos sociais, econômicos e principalmente a garantia de qualidade ambiental para futuras gerações.

## REFERÊNCIAS

ALVES, André. Luiz; MOTA, Marlton Fontes.; TAVARES, Thiago Passos. O Instagram no processo de engajamento das práticas educacionais: a dinâmica para a socialização do ensinoaprendizagem. **Revista Científica da FASETE**. 2018.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado. 1988. IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades Pombal. 2022. Disponível em: . Acesso em: 28 de agosto de 2024.


BRASIL. LEI 9795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente e da Educação. Brasília, 27 abr. 1999.

SOUSA, S. et al. O uso do Instagram® como ferramenta de divulgação científica. VII CONEDU - Conedu em Casa... Campina Grande: Realize Editora, 2021. Disponível em: . Acesso em: agosto 27. 2024.

GONÇALVES, Jozeli; DE OLIVEIRA, Tiago; GONÇALVES, Maraisa. Educação Ambiental e seus desdobramentos hoje no Brasil: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 17, n. 4, p. 247-260, 2022.

PANTOJA, Sônia; FERREIRA, Rosângela. Evolução da Internet no Brasil e no Mundo. Ministério da Ciência e Tecnologia / Secretaria de Política de Informática e Automação: Brasília, DF, 2000. Disponível em: <https://www.feaeterj-rio.edu.br/downloads/bbv/0032.pdf>.

# ORGANIZAÇÃO DO SERVIÇO DE DIAGNÓSTICO LABORATORIAL DO SARS-COV2: A EXPERIÊNCIA DO PROGRAMA DE VIGILÂNCIA DA COVID-19 NA UFPA

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430105>

*Data de aceite: 11/11/2024*

**Dwane Louise de Castro Miranda**

**Ândrea Kely Campos Ribeiro dos Santos**

**Cláudio Guedes Salgado**

**José Ricardo dos Santos Vieira**

**RESUMO: INTRODUÇÃO:** A Covid 19 é causada pelo retrovírus SARS-Cov-19 cujos principais sintomas bem como achados laboratoriais são comuns a outras viroses respiratória. O diagnóstico definitivo baseia-se na identificação do RNA viral ou antígenos em amostras de secreção respiratória e saliva. A identificação de anticorpos no sangue apresenta padrão peculiar que não garante o diagnóstico da doença ativa. Em março de 2020, a UFPA criou o Programa de Vigilância da Covid-19 na UFPA para atender aos trabalhadores da instituição no momento crítico da pandemia em que não havia padrões bem definidos para a organização do fluxo de atendimento para o diagnóstico molecular da Covid-19.

**OBJETIVO:** Propor um esquema de organização do serviço de diagnóstico laboratorial de SARS-CoV-2 por RT-qPCR

em amostra de saliva no laboratório de análises clínicas e no laboratório de genética humana e médica do ICB/ UFPA.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Foram atendidos 1.313 trabalhadores da UFPA, dos quais 1.153 realizaram a pesquisa de RNA viral pelo método de RT-qPCR, 710 realizaram a pesquisa de IgG no soro e 586 realizaram ambos os testes. O fluxo de atendimento foi sendo organizado de acordo com a demanda do serviço no esforço conjunto dos profissionais envolvidos no projeto. A Ouvidoria da UFPA realizou enquête com usuários do serviço estimando o grau de satisfação dos indivíduos atendidos.

**RESULTADOS:** 98 (8,5%) dos sujeitos foram positivos nos testes de RT-qPCR e 161(22,7%) foram positivos para IgG. Foram identificados 35 (3,04%) resultados de RT-qPCR inconclusivos e 54 (7,6%) IgG indeterminados. As análises de correlação, OddsRatio e Risco Relativo, revelaram que há a chance 3,5 vezes aumentadas de indivíduos RT-qPCR positivos apresentarem também IgG positivo ( $p < 0,0001$ ), o que indica que o IgG não deva ser específico do quadro crônico da doença ou que esses pacientes já tenham tido entrado em contato com o vírus e permanecido com o título detectável no momento da coleta. O

serviço foi avaliado com nota 9,02; o seu grau de importância foi classificado com nota 9,55; a satisfação com o atendimento ficou com nota 7,84 e nenhum usuário encontrou dificuldades em acessar o serviço. **CONCLUSÃO:** A realização do RT-qPCR nas amostras de saliva mostrou-se prática e ágil, Os resultados mostraram que a dosagem do IgG não é exclusiva dos casos crônicos. O serviço foi muito bem avaliado pelos usuários o que demonstra que a experiência do programa de vigilância da Covid-19 na UFPA foi bem-sucedida em sua proposição e execução.

**PALAVRAS-CHAVE:** Covid-19; SARS-Cov-2; RT-qPCR; diagnóstico.

## ORGANIZATION OF THE SARS-COV2 LABORATORY DIAGNOSIS SERVICE: THE EXPERIENCE OF THE COVID-19 SURVEILLANCE PROGRAM AT UFPA

**ABSTRACT: INTRODUCTION:** Covid 19 is caused by SARS-Cov-19 retrovirus whose main symptoms as well as laboratory findings are common to other respiratory viruses. Definitive diagnosis is based on viral RNA or antigens identification in respiratory secretions and saliva samples. Antibodies identification in blood presents a peculiar pattern that does not guarantee active disease diagnosis. In March 2020, UFPA created the Covid-19 Surveillance Program at UFPA to assist workers at the critical moment of the pandemic when there were no well-defined standards for the flow of care for molecular diagnosis of Covid-19. **AIMS:** To propose an organization scheme for the SARS-CoV-2 laboratory diagnosis service using RT-qPCR in saliva samples in the clinical analysis laboratory and in the human and medical genetics laboratory at ICB/UFPA. **MATERIAL AND METHODS:** 1,313 asymptomatic workers at UFPA were attended, of which 1,153 performed the viral RNA test using the RT-qPCR method, 710 performed the serum IgG test and 586 performed both tests. Service flow was being organized according to the service demand by professionals involved in the project. UFPA Ombudsman carried out a survey with 50 users of the service, estimating the degree of satisfaction. **RESULTS:** 98 (8.5%) subjects were positive in RT-qPCR tests and 161 (22.7%) were positive for IgG. We identified 35 (3.04%) inconclusive RT-qPCR results and 54 (7.6%) indeterminate IgG results. Correlation analysis, Odds Ratio and Relative Risk, revealed that there is a 3.5 times greater chance of RT-qPCR positive individuals also presenting positive IgG ( $p < 0.0001$ ), which indicates IgG should not be specific for chronic condition of disease or these patients have already come into contact with virus and remained with a detectable titer at time of sample collect. The service was rated 9.02; its degree of importance was rated 9.55; satisfaction with the service reached a score of 7.84 and no user found it difficult to access the service. **CONCLUSION:** RT-qPCR performed on saliva samples were a practical and agile method. Results have shown IgG measurement is not exclusive to chronic cases. The service was very well evaluated by users, demonstrating the experience of the Covid-19 surveillance program at UFPA was successful in its proposal and execution.

**KEYWORDS:** Covid-19; SARS-Cov-2; RT-qPCR; diagnosis.

## INTRODUÇÃO

A Covid 19 é causada por um retrovírus descoberto em Whuan, cidade da China, em dezembro de 2019. Desde lá, o coronavírus SARS-CoV-2 teve grande visibilidade por meio da descoberta deste novo vírus capaz de causar grave pneumonia. O surto da doença causada pelo novo coronavírus, a Covid-19, foi considerado como emergência de saúde pública internacional, sendo ela considerada uma pandemia em março de 2020 (OPAS, 2020).

O coronavírus é um vírus de RNA e, dentre sete cepas capazes de causar patologias em humanos, três deles são responsáveis por surtos de pneumonia neste século: SARS-CoV-2 (Covid-19), MERS CoV (causa síndrome respiratória do Oriente Médio) e SARS-CoV: que causa síndrome respiratória aguda grave. Em relação ao genoma, codificam 16 proteínas não estruturais e 4 proteínas estruturais: glicoproteína de envelope (E), proteína de membrana (M), proteína de nucleocapsídeo (N) e glicoproteína de superfície “Spike” (MAGALHÃES, S., 2020).

Segundo Guo *et al.*, os coronavírus contêm um número variável de quadros de leitura aberta (ORF's). Na primeira ORF, dois terços do RNA viral traduzem duas poliproteínas (pp1a e pp1ab) e codificam 16 proteínas não estruturais (NSP), enquanto as ORFs restantes codificam proteínas acessórias e estruturais. Segundo Li, C. *et al.*, o genoma de SARS-CoV-2 tem profundas semelhanças genômicas com material genético de morcego, podendo indicar o mesmo antepassado por meio de 96,2% de sequências genômicas iguais. Outros estudos mostram que pangolins podem ser considerados como hospedeiros intermediários do coronavírus (WU, Di *et al.*, 2020).

O SARS-CoV-2 trata-se de um betacoronavírus, da família *Coronaviridae* cujo genoma está contido em uma única fita de RNA de sentido positivo capaz de sofrer sucessivas mutações. O SARS-Cov-2 também é capaz de sintetizar mais de 20 proteínas diferentes, sendo algumas destas proteínas de superfície responsáveis pela infecção na célula hospedeira, bem como outras relacionadas com o mecanismo de patologia da Covid-19 (VIEIRA, L. M. F. *et al.*, 2020). Embora a patogênese viral seja desconhecida, estudos apontam que SARS-Cov-2 usa enzima conversora de angiotensina II como receptor de entrada para infecção na célula hospedeira. SARS-CoV-2 utiliza o mesmo mecanismo e, acredita-se que a transmissão para humanos foi propiciada pela mutação na glicoproteína de superfície (S) e no nucleocapsídeo (N) (SEO, G. *et al.*, 2020). Essa mutação na proteína S permitiu a entrada do vírus na célula pela fusão de membrana e receptor de ligação celular. Já a proteína N regula o procedimento de replicação do vírus juntamente com a transcrição e montagem. Juntas essas duas mutações conferem a distinção do SARS-CoV-2 em relação à cepa original, o que contribui para sua maior infectividade em seres humanos (LIPPI, G.; PLEBANNI, M., 2020). Os primeiros casos de Covid-19 foram associados a um mercado de frutos do mar em Whuan e a transmissão passada de animal

para humano. Sabe-se que os indivíduos assintomáticos (jovens e crianças) têm um papel fundamental na propagação da doença (já que são considerados suscetíveis). A emissão de partículas virais entre os indivíduos está relacionada ao trato respiratório superior e sua carga viral. Ou seja, a transmissão ocorre com a tosse, espirro e emissão de partículas de saliva e posterior contato com as mucosas e pode ser facilitada por meio de fômites como celulares e objetos compartilhados, além de contato pessoal por apertos de mão e abraços (XAVIER, R. A. *et al.*, 2020).

Segundo o Ministério da Saúde, os sintomas do coronavírus são coriza, tosse, febre, dor de garganta, dificuldade respiratória, perda de sensibilidade olfativa, paladar alterado, distúrbios gastrointestinais, falta de apetite, cansaço e dispneia. Dias *et al.*, (2020). Os achados laboratoriais incluem linfopenia, leucopenia e trombocitopenia leve. Também são encontrados o aumento de marcadores inflamatórios: lactato desidrogenase (LDH), proteína C reativa (PCR), aspartatoaminotransferase (AST), troponina, creatinoquinase (CK), ferritina e tempo de protrombina estendida (OLIVEIRA, A. B. *et al.*, 2020). Relata-se síndrome de ativação macrófágica (MAS) ou tempestade de citocinas, que é a resposta inflamatória em decorrência da Covid-19. Marcadores inflamatórios e ferritina estão elevados nestes casos, resultando em ativação endotelial de células pulmonares, infiltração por macrófagos e neutrófilos, terminando em injúria, hipóxia e inflamação tromboembólica (DIAS, H.C.M.V. *et al.*, 2020).

Além dos achados laboratoriais, exames complementares incluem a radiografia do tórax e a tomografia computadorizada, entretanto, segundo Guo *et al.*, (2020), a sensibilidade da radiologia é limitada e deve ser combinada com o diagnóstico clínico e detecção de RNA viral. Teichet *et al.*, em um dos primeiros estudos realizados no Brasil, no hospital israelita Albert Einstein, demonstraram que 93,6% das tomografias realizadas em seus estudos apresentaram resultados anormais, demonstrando o comprometimento pulmonar dos pacientes com Covid-19. Entre as anormalidades achadas estavam a opacidade em vidro fosco e consolidações bilaterais irregulares. O potencial pandêmico da Covid-19 pode ser controlado através de vigilância epidemiológica baseada em informações sobre a transmissibilidade, infecciosidade e evolução viral, bem como sua adaptação ao hospedeiro (MARINELLI, P.N. *et al.*, 2020). Neste sentido, o laboratório exerce grande importância no diagnóstico diferencial entre síndromes respiratórias e Covid-19, sendo o local para a detecção de amostras de triagem e diagnóstico confirmatório de SARS-CoV-2. Sendo assim, baseado na prática usual de abordagem laboratorial do diagnóstico de viroses respiratórias, as pessoas com suspeita de coronavírus faziam primeiramente o teste rápido IgG/IgM para detecção de anticorpos, visualizada por meio de cromatografia (através da punção digital) e, a seguir, a depender dos resultados dos testes, suas amostras poderiam ser encaminhadas para posterior diagnóstico confirmatório pelo teste molecular da RT-PCR (*Reverse transcription polymerase chain reaction* - Transcrição reversa seguida de reação em cadeia da polimerase), por meio de *swab* da nasofaringe e orofaringe ou coleta de saliva.

## JUSTIFICATIVA

O estudo do diagnóstico laboratorial da Covid-19 é de fundamental importância para a vigilância epidemiológica da população com o intuito de esclarecimentos a respeito de um vírus pouco conhecido no início de realização deste estudo, em março de 2020. Nesse sentido, os trabalhadores da UFPA que por razões da essencialidade de suas atividades, mantiveram-se em atividades presenciais, na linha de frente da pandemia, mereciam total atenção, já que eram os profissionais mais expostos ao novo coronavírus. Desta forma, a Universidade Federal do Pará (UFPA) criou o Programa de Vigilância da Covid-19 na UFPA que objetivava a oferta de diagnóstico laboratorial do SARS-Cov-2 por meio de RT-qPCR a trabalhadores (servidores docentes e técnicos administrativos, terceirizados e estagiários) da UFPA como forma de prevenção contra a Covid-19 e a melhoria das condições de trabalho. Assim, os trabalhadores dos hospitais universitários Bettina Ferro de Souza (HUBFS) e João de Barros Barreto (HUJBB), bem como demais trabalhadores em atividades presenciais da UFPA, tiveram apoio dos Laboratórios de Genética Humana e Médica (LGHM), do Laboratório de Análises Clínicas da (LAC), do laboratório didático de Biotecnologia e do Laboratório de Imunodermatologia do Instituto de Ciências Biológicas da UFPA (ICB/UFPA) em relação ao diagnóstico da Covid-19.

A atenção aos trabalhadores em atividade presencial permitiu traçar medidas de prevenção e controle da doença na rotina diária da UFPA. De maneira adicional, o LGHM e o LAC contribuíram junto ao Laboratório Central do Estado do Pará (LACEN) e à Secretaria de Estado de Saúde Pública (SESPA) e da Secretaria Municipal de Saúde de Belém (SESMA) melhorando a vigilância epidemiológica de casos de coronavírus no município de Belém.

A análise dos resultados deste programa e a avaliação do serviço prestado ajudaram a melhor organizar o fluxo de atividades de diagnóstico laboratorial da Covid-19 realizado pelos laboratórios do ICB/UFPA.

## OBJETIVOS

### Geral

- Estabelecer uma organização do serviço de diagnóstico laboratorial de SARS-CoV-2 por RT-qPCR em trabalhadores da UFPA por meio do Laboratório de Genética Humana e Médica (LGHM) e do Laboratório de Análise Clínicas (LAC) do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará (UFPA).



## Específicos

- Fazer a comparação sorológico-molecular das amostras de material coletado destes profissionais.
- Estabelecer uma análise laboratorial dos testes de diagnóstico nos profissionais da UFPA.
- Descrever o processo de organização do serviço de diagnóstico laboratorial do SARS-CoV-2 no LGHM e LAC-ICB/UFPA.

### *COLETA DE MATERIAL*

As coletas foram realizadas no local de trabalho por profissionais habilitados e estas foram devidamente acondicionadas até sua chegada ao LGHM e LAC para posterior etapa analítica das amostras. Em uma segunda etapa do projeto, as amostras passaram a ser coletadas no LAC e as amostras processadas no Laboratório didático de Biotecnologia e analisadas no LGHM.

A etapa analítica consistiu na extração de material genético e PCR quantitativa em tempo real (RT-qPCR) como teste confirmatório, realizado na saliva seguindo protocolo proposto pelo laboratório

As amostras foram armazenadas em freezer -20 °C para processamento em até 48 horas ou armazenadas a -70°C para posterior análise. O transporte até o Laboratório de Genética Humana e Médica foi feito com as amostras em refrigeração de 2-8 °C a partir das diretrizes do Ministério da saúde para coleta e conservação de amostras para Covid-19 (Brasil, 2020).

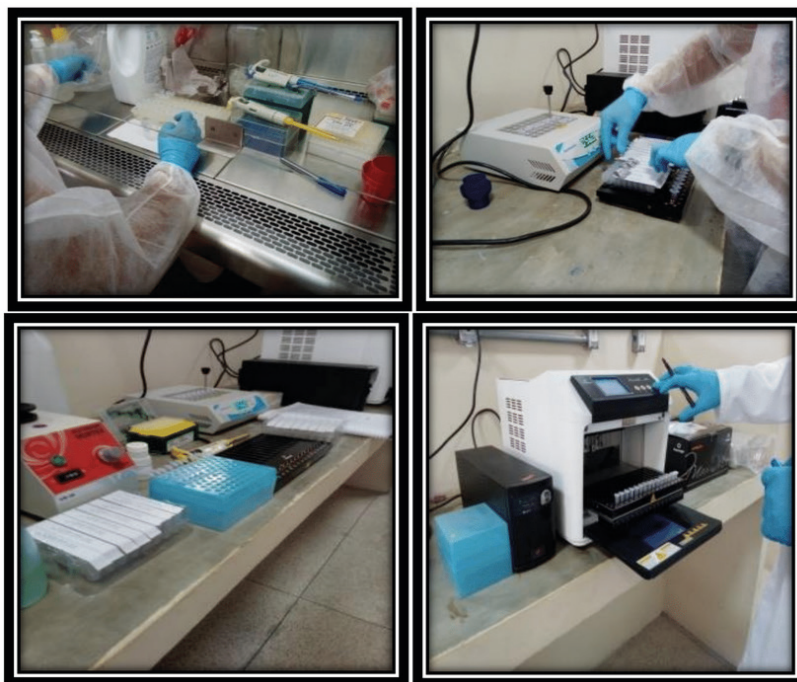
### *EXTRAÇÃO DE RNA VIRAL DO SARS-COV-2*

O RNA viral foi extraído por método automatizado: Maxwell® 16 (Promega) de acordo com as informações fornecidas pelos fabricantes. As cabines de segurança 2 (NB2) foram utilizadas para manipulação das amostras biológicas no laboratório didático de Biotecnologia do Instituto de Ciências Biológicas.

A primeira etapa da extração de ácidos nucleicos consistiu na separação de alíquotas das amostras, por meio de através de 250 µL de saliva em dois microtubos do tipo *ependorfs*, sendo um deles para análise pelo equipamento Maxwell. Na segunda etapa houve a adição de 200 µL de tampão de lise, cujo objetivo é a ruptura da célula (lise celular) para que o conteúdo ficasse exposto. Neste caso, houve ruptura por método químico através de detergentes químicos. Os detergentes têm por função a destruição de lipídeos de membrana, através de desconstrução das ligações hidrofóbicas dos lipídios das membranas. Como a reação precisou ser feita com agentes quelantes, estes capturam íons, que por sua vez são usados como cofatores em proteínas que degradam ácidos nucleicos, a exemplo da DNase que precisa de íons magnésio. A seguir foi utilizada a proteinase K

(degrada proteínas) para purificação das moléculas que se deseja obter, separando-as dos demais componentes da célula contidas no *ependorf*. A terceira etapa foi agitação das amostras em equipamento tipo *vortex*. A quarta etapa da reação foi a fixação das amostras no termobloco (56°C).

Houve ainda a adição de 50µL de nuclease *freewater* a cada *ependorf* com as amostras, antes da entrada no extrator automático. Seguindo-se à purificação, a etapa final da extração dos ácidos nucleicos (neste caso RNA) foi a precipitação destes com o uso de isopropanol para precipitação de RNA (Figura 1).



**Figura 1** - Extração de RNA viral de SARS-Cov-2.

Fonte: fotos da autora.

### *REAL-TIME QUANTITATIVE REVERSE POLYMERASE CHAIN REACTION (RT-qPCR)*

O teste de RT-qPCR é considerado padrão-ouro na detecção de SARS-Cov-2. Segundo o Ministério da saúde, amostras da nasofaringe ou saliva coletadas até o 8º dia de sintomas, ou em qualquer momento para assintomáticos, é a amostra ideal para detecção viral por RT-qPCR.

As amostras de saliva deste estudo foram analisadas em equipamento ABI 7500 (Figura 2), com *primers* e sondas descritos por fabricante e protocolo ajustado pela equipe técnica do laboratório do LGHM.



Figura 2 - RT-qPCR (Equipamento ABI 7500)

Fonte: fotos da autora.

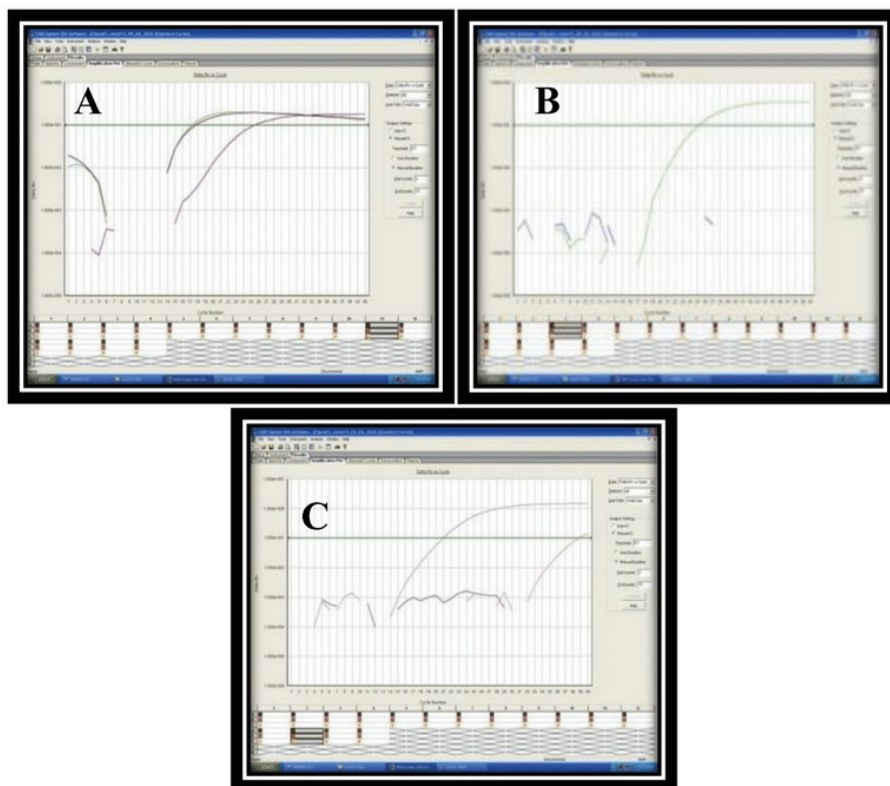


Figura 4 - Resultados de RT-qPCR para SARS CoV-2. A, B e C: resultados positivos, negativos e inconclusivos, respectivamente.

Fonte: fotos da autora.

O diagnóstico Padrão-Ouro para SARS CoV-2 (RT-qPCR) é baseado em uma técnica de biologia molecular capaz de detectar mínimas quantidades de antígenos na amostra laboratorial. Há um limite de detecção (Também chamado *Cut Off* (CT)- inglês ou ponto de corte, do português). Quando a linha de amplificação ultrapassa o CT (17 ou 18), o teste molecular é considerado positivo (Figura 4A), ou seja, o RNA do SARS CoV-2 foi detectado pelo equipamento. Um resultado negativo não atinge o CT do teste e significa que o RNA do vírus foi indetectável naquele momento, mas não indica ausência de doença. Também pode indicar um RNA em baixa titulação ou não detectável no limite do teste (Figura 4B). Já um resultado inconclusivo (Figura 4C) indica que o RNA viral apresentou divergência no teste molecular, como uma linha de amplificação acima do CT e outra abaixo do CT, indicando tecnicamente uma falha de detecção que precisa ser solucionada coletando outra amostra do paciente.

## **Dosagem de IgG**

A dosagem de anticorpos IgG foi realizada pelo método de ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*), que se baseia em reações antígeno-anticorpo detectáveis por meio de reações com a peroxidase, que catalisa a reação de desdobramento de  $H_2O_2$  em  $H_2O$  e  $O_2$ . As análises foram realizadas no Laboratório de Imuno-dermatologia do ICB a partir de protocolo estabelecido pelo laboratório (FABRI et al., 2015). As amostras de sangue total foram separadas por centrifugação e o soro armazenado a  $-20^{\circ}C$  até o momento da dosagem. A padronização para a dosagem de IgM não foi estabelecida a tempo de ser incluída na análise deste estudo.

Os resultados foram avaliados na base do índice ELISA (EI), que corresponde à densidade óptica (DO) da amostra dividida pela DO do ponto de corte (*cut-off*) que, por sua vez, foi calculado como uma média de três controles negativos (soros armazenados a  $-80^{\circ}C$  e testados RT-qPCR negativos, oriundos de coletas em 2019, antes do surgimento da pandemia) mais três vezes o desvio padrão, de modo que amostras com valores de EI de 1,1 ou acima foram consideradas positivas. A dosagens com EI de 1,0 foram consideradas inconclusivas e as menores ou iguais a 0,9 foram negativas.

## **Critérios para o Diagnóstico clínico-epidemiológico-laboratorial**

Ao final das análises, os resultados considerados RT-qPCR positivos foram comunicados aos pacientes e inseridos no sistema nacional de comunicação compulsória da Covid-19, bem como os pacientes encaminhados para atendimento no sistema de saúde (Anexo I). O retorno às atividades laborais dependia do tempo da dispensa médica e não do teste do paciente.

As dosagens de IgG somente foram realizadas após a emissão do resultado do RT-qPCR e não possuíam, portanto, finalidade diagnóstica. Desta forma, os resultados da sorologia foram entregues aos pacientes e a interpretação discutida, individualmente, pelos coordenadores do programa, quando solicitadas

### **Avaliação do serviço ofertado aos trabalhadores da UFPA.**

A Ouvidoria da UFPA realizou enquête, por meio de um questionário *on-line*, com cinco questões para avaliar o grau de satisfação dos usuários (Apêndice 3). Os resultados foram expressos em gráficos e tabelas e serviram de base para a elaboração de relatório em atenção à determinação da Ouvidora Geral da União, por meio da Portaria N° 581, de 9 de março de 2021/CGU, que todas as unidades federais de prestação de serviço deveriam iniciar a avaliação dos mesmos por meio de suas ouvidorias.

## **RESULTADOS**

### **Análises dos exames realizados**

No período de 01/04/2020 a 15/12/2020, foram atendidos 1.313 trabalhadores da UFPA, dos quais 1.153 (87,8%) realizaram a pesquisa de RNA viral pelo método de RT-qPCR, 710 realizaram a dosagem de IgG no soro (54,1%) e 586 (44,6%) realizaram ambos os testes. A razão de nem todos os indivíduos terem realizados ambos os testes se deve ao fato de somente a partir de junho passou-se a fazer a dosagem de anticorpos. A dosagem da IgM não chegou a ser realizada porque não foi padronizada a tempo de ser implantada para este estudo. Alguns indivíduos atendidos no laboratório realizaram a pesquisa de IgG e IgM por meio de teste rápido cromatográfico, mas este teste não foi inserido na rotina do laboratório o que deixou de fora da análise neste estudo. Desta forma, somente o serviço de diagnóstico por meio do RT-qPCR foi avaliado. A dosagem de IgG, apesar de não constituir em método de diagnóstico de doença ativa, foi analisada neste estudo por conta dos resultados importantes observados na análise conjunta com a dosagem de RT-qPCR, que ajudaram a orientar as condutas do serviço.

Na amostragem total, 1.153 pacientes realizaram testes de RT-qPCR com 98 (8,50%) foram positivos, 1020 (88,46%) negativos e 35 (3,04%) inconclusivos; e 710 realizaram pesquisa de IgG com 161 positivos (22,7%), 495 (69,7%) negativos e 54 (7,6%) indeterminados (Figuras 5 e 6).

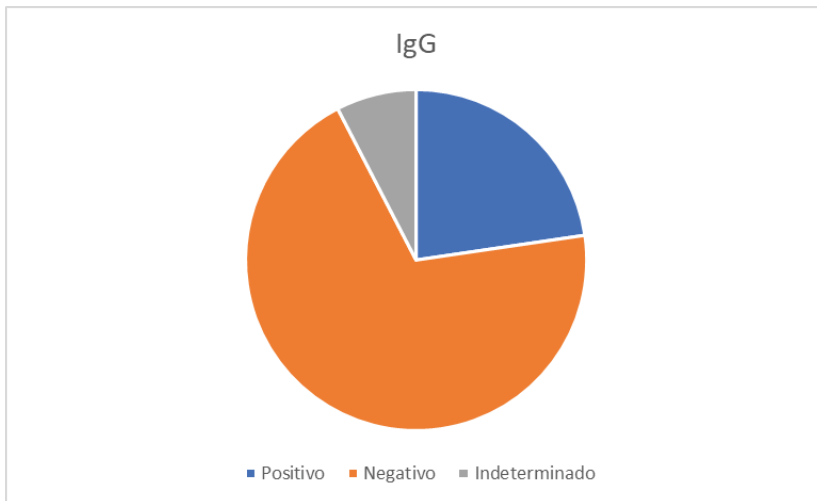


Figura 5 – Pesquisa de IgG no soro de indivíduos da pesquisa.

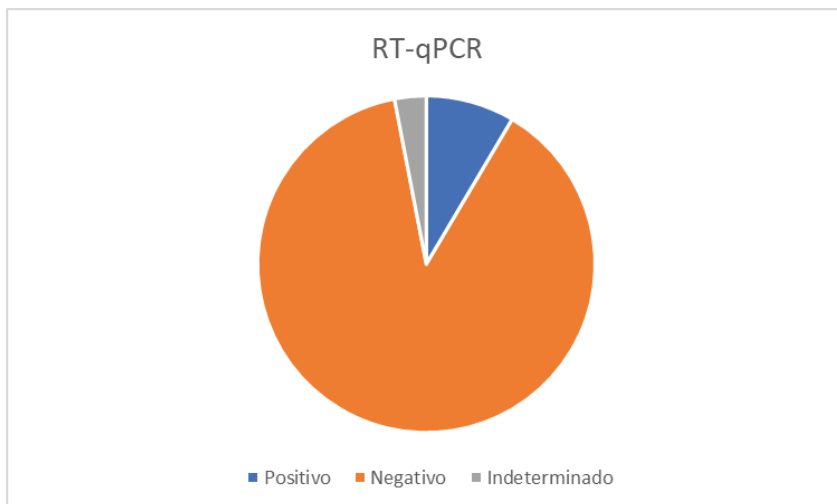


Figura 6 – Teste de RT-qPCR em participantes da pesquisa.

Somente 586 amostras tinham realizado os testes em conjunto, das quais, 129 (22,01%) eram positivas para IgG, 407 (69,45%) eram negativos e 50 (8,54%) foram indeterminados.

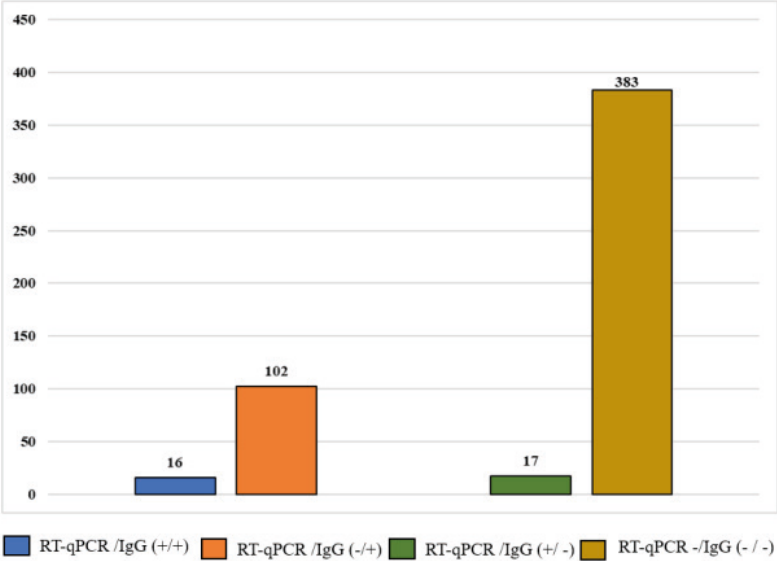
Em relação à RT-qPCR, das 586 amostras, 36 (6,14%) eram positivas, 530 (90,44%) eram negativas e 20 (3,41%) foram inconclusivas (Tabela 1).

Teste	Positivos (N / %)	Negativos (N / %)	Indeterminados (N / %)
IgG	129 (22,01)	407 (69,45)	50 (8,54)
RT-qPCR	36 (6,14)	530 (90,44)	20 (3,41)

Tabela 1– Distribuição das frequências absolutas da dosagem de IgG e pesquisa de RT-qPCR.

Em relação à média dos EI, dos 586 indivíduos que realizaram também o RT-qPCR, a média aritmética estava com 1,42 ( $\pm 0,40$ ) para os positivos, de 0,64 ( $\pm 0,15$ ) entre os negativos e de 0,94 ( $\pm 0,03$ ) entre os indeterminados. A análise ANOVA e o Teste-T revelam que os valores das médias dos testes positivos e negativos variaram de maneira significativa em relação aos inconclusivos ( $p < 0,0001$ ), mostrando que o EI referente ao laudo positivo ou negativo estava significativamente diferenciado dos indeterminados ou seja, os valores de referência adotados são suficientes para distinguir os resultados positivos e negativos (Tabela 2).

Para realizar as análises de correlação, *OddsRatio* (OR) e Risco Relativo (RR), foi analisado o risco para pacientes com RT-qPCR positivos apresentarem também IgG positivos, observando-se que 16 foram positivos para ambos os testes, 17 positivos somente para RT-qPCR, 102 negativos para RT-qPCR e positivos para IgG e 383 negativos para ambos os testes (Figura 7). Ficou demonstrado que pacientes RT-qPCR positivos apresentaram a chance 3,5 vezes aumentadas de serem IgG positivos (Tabela 3). Os dados foram agrupados em tabela de contingência 2x2 para a realização da análise de regressão logística condicional por OR e RR(Tabela 3).



**Figura 7** - Distribuição dos resultados de RT-qPCR positivos e negativos em relação aos resultados da pesquisa de IgG positivas e negativas.

	Positivos	Negativos	Inconclusivos
Média aritmética	1,42	0,64	0,94
Desvio padrão	±0,40	±0,15	±0,03
ANOVA	p < 0,0001	p < 0,0001	-
Teste T (Student)*	p < 0,0001	p < 0,0001	-

Tabela 2 -Média dos Índice ELISA das amostras do estudo.

\* Com correção de Tukey.

		IgG		OR (p)	IC (95%)	RR (p)	IC (95%)
		Positivo	Negativo				
RT-qPCR	Positivo	16	17	3,53	1,73 –	3,53	2,88 –
	Negativo	102	383	(<0,0001)	7,24	(<0,0001)	4,34

Tabela 3- Análise de correlação entre os resultados de testes positivos e negativos de RT-qPCR e IgG.

## Análise do fluxo dos exames

Os testes moleculares de RT-qPCR foram considerados como suficientes para o diagnóstico laboratorial da Covid-19. Os testes sorológicos não foram incluídos na rotina de diagnóstico da doença, uma vez que a dosagem de IgM não foi padronizada a tempo para a inclusão neste estudo e o IgG, usualmente, é considerado no diagnóstico de doença crônica (LIU et al., 2020). De maneira adicional, os resultados reforçaram os achados de Bichara et. al (2020) ao demonstrar que resultados IgG positivos foi identificados de maneira significativa juntamente aos resultados de RT-qPCR positivos o que sugere que seu uso não pode ser indicador exclusivo de doença crônica, o que pode ser um fator de confusão na análise diagnóstica.

O uso da saliva como material biológico mostrou-se apropriado e o índice de inconclusivos parece não estar relacionado ao método em especial, pois resultados semelhantes foram identificados em outros trabalhos (YANG et. al, 2021; Kjellberg et al., 2021; ENGELBRECHT e SCHOLLES, 2021). A análise dos resultados de RT-qPCR contribuíram para estabelecer a organização do serviço de diagnóstico laboratorial dos profissionais em atividades presenciais, já que foi a primeira vez que este serviço foi ofertado na UFPA. Os resultados dos testes laboratoriais obedeceram a um fluxograma construído para compor um perfil genético epidemiológico destes indivíduos.

## Enquete de avaliação do serviço

A Ouvidoria da UFPA recebeu 38 respostas ao formulário disponível para resposta voluntária à enquete sobre a qualidade do serviço ofertado no diagnóstico da Covid-19. Dessas respostas, 30 referiam-se a usuários do serviço e os resultados mostraram, que todos os respondentes pertenciam ao *campus* de Belém obtendo nota média de 9,02 e 25 usuários (65,8%) deram nota 10 ao serviço (Figura 8). O grau de importância do serviço obteve nota média 9,55, respondidas por 10 dos avaliados em 31 avaliações (81,6%) (Figura 9).

A satisfação com o atendimento obteve nota média de 7,84, com a nota 10 atribuída por 21 usuários (55,3%) e nota 9 em 8 avaliações (23,7%) (Figura 10). Nenhum usuário encontrou dificuldades em acessar o serviço (Figura 11).



Em uma escala de 1 a 10, como você avalia esse Serviço?

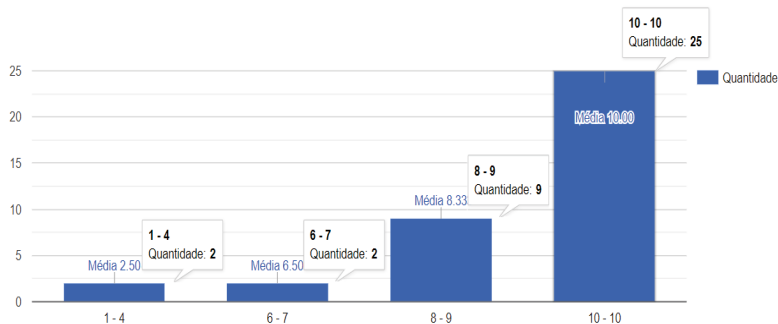


Figura 8 – Nota geral atribuída ao serviço.(Fonte: Ouvidoria da UFPA).

Em uma escala de 1 a 10, como você avalia o grau de importância desse Serviço?

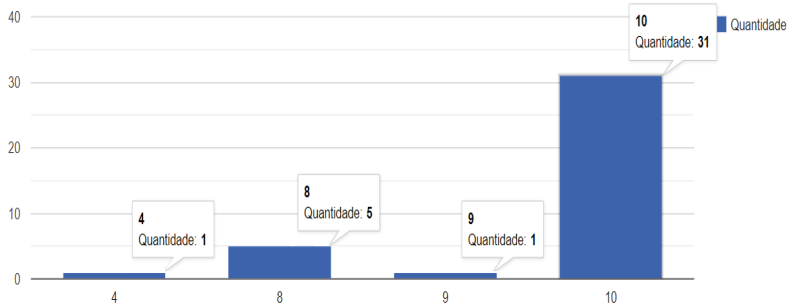


Figura 9 – Avaliação do grau de importância do serviço. (Fonte: Ouvidoria da UFPA).

Em uma escala de 1 a 10, quão satisfeito você ficou com o atendimento do Serviço?

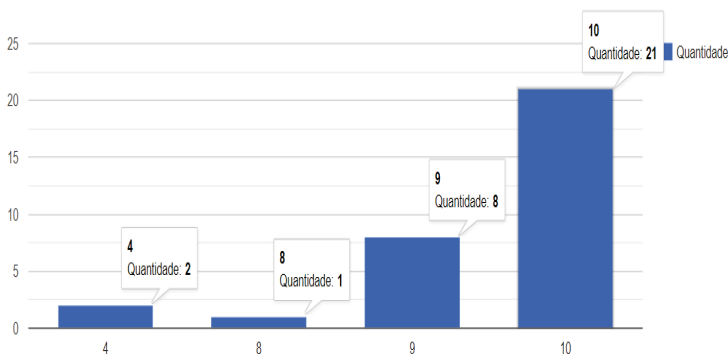


Figura 10 – Grau de satisfação do serviço.

Fonte: Ouvidoria UFPA.

**Você encontrou dificuldade para ter acesso ao Serviço? Sim ou Não? Se sim, qual(is)? Caso não tenha utilizado o serviço, responda: Não utilizei o Serviço.**

Não utilizei  
Não encontrei nenhuma dificuldade.  
Não  
Não encontrei dificuldade para ter acesso ao serviço.  
Não encontrei dificuldade para ter acesso ao Serviço.  
Não utilizei o Serviço.  
Não utilizei o Serviço  
não utilizei o serviço  
não utilizei  
NÃO.

**Você encontrou dificuldade para ter acesso ao Serviço? Sim ou Não? Se sim, qual(is)? Caso não tenha utilizado o serviço, responda: Não utilizei o Serviço.**

Não utilizei o Serviço  
não utilizei o serviço  
não utilizei  
NÃO.  
Não.  
Não houve dificuldade no acesso ao serviço  
Não utilizei o serviço.  
NÃO  
Não  
Não.

Figura 11 – Grau de dificuldade de acesso ao serviço.

Fonte: Ouvidoria UFPA.

## DISCUSSÃO

Ao analisar as amostras do estudo, verificou-se que 44,7% dos pacientes realizaram os testes em conjunto. Ou seja, fizeram a dosagem de IgG e também a RT-qPCR para ambas as análises. À época não se tinha certeza se apenas o diagnóstico sorológico era suficiente para afirmar a infecção por SARS CoV-2. Também não se sabia com precisão o impacto da determinação do IgG para o diagnóstico da Covid-19. Os testes de IgM não foram padronizados a tempo de entrarem neste estudo, mas foram considerados (assim como IgG) como não plenos para o diagnóstico de doença atual ou antiga em estudos posteriores (Liu et. al, 2020; 2020; Bichara et al, 2021). Mesmo a dosagem de IgG demorou a ser padronizada e foi ofertada depois dos pacientes terem recebido o resultado do RT-qPCR.

A maioria das amostras foi considerada negativa para SARS CoV-2, e apenas 22,01% das 586 amostras foram consideradas positivas para ambos os testes. Deve-se considerar que a população era formada apenas por profissionais expostos a atividades presenciais de contato com o público, o que pode significar que a população estudada já tinha entrado em contato com o vírus e desenvolveram anticorpos para o SARS CoV-2, mas não desenvolveram a doença ou que os indivíduos não desenvolveram anticorpos para SARS CoV-2, mas tinham entrado em contato recente com o vírus, naquele momento de grande circulação e disseminação da virose. Das 586 amostras, as consideradas negativas foram de 386, tanto no IgG quanto no RT-qPCR, sendo seu EI na média de  $0,635 \pm DP 0,164$ . Assim, pode-se considerar como amostras verdadeiramente negativas, ou seja, que o indivíduo não tinha o vírus no momento da coleta e/ou não formou anticorpos que o limite de detecção do teste pudesse comprovar uma infecção por SARS CoV-2.

Os pacientes RT-qPCR positivos apresentaram 3,5 vezes aumentadas o risco de serem IgGpositivos, o que demonstra pessoas com anticorpo típico de infecção crônica realmente positivas para SARS CoV-2, apresentando a infecção ativa no momento da execução do teste. Este resultado talvez esteja relacionado ao fato de que, na Covid-19, o IgG não seja específico de pacientes no quadro crônico da doença. Possivelmente, esses pacientes já tinham entrado em contato com o vírus e permanecido com o título detectável no momento da coleta ou ainda há a possibilidade que estivessem em uma segunda infecção no momento da coleta destas amostras.

## CONCLUSÃO

Por fim, foi elaborado um manual informativo, como forma de comunicar à sociedade os resultados deste trabalho e para a orientação dos profissionais dos laboratórios envolvidos neste estudo no que diz respeito ao atendimento das demandas da sociedade por parte do Programa de Vigilância da Covid-19 na UFPA.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, E.M.L. *et al.* **Medidas de distanciamento social no controle da pandemia de Covid-19: potenciais impactos e desafios no Brasil.** Ciência e Saúde Coletiva, Bahia, 2020.

BAYHAN, G.I. *et al.* **Effectiveness of CoronaVac in preventing COVID-19 in healthcare workers.** HUMAN VACCINES & IMMUNOTHERAPEUTICS. 2022

BICHARA, D.C.A. *etal.* **Assessment of Anti SARS CoV antibodies post Coronavac Vaccination in the Amazon region of Brazil.** Vacinnes. 2021.

BICHARA C.D.A, DA SILVA GRAÇA AMORAS E, VAZ G.L., DA SILVA TORRES M.K., QUEIROZ M.A.F., DO AMARAL I.P.C., VALLINOTO I.M.V.C., BICHARA C.N.C., VALLINOTO A.C.R. **Dynamics of anti-SARS-CoV-2 IgG antibodies post-COVID-19 in a Brazilian Amazon population.** BMC Infect Dis. 2021 May 15;21(1):443. doi: 10.1186/s12879-021-06156-x. PMID: 33992073; PMCID: PMC8122196.

BILGIN, Het *al.* **The effect of immunization with inactivated SARS-CoV-2 vaccine (CoronaVac) and/or SARS-CoV-2 infection on antibody levels, plasmablasts, long-lived-plasma-cells, and IFN- $\gamma$  release by natural killer cells.** ELSEVIER, 2021.

BORGES, M.C. **Projeto S: a stepped-wedge randomized trial to assess CoronaVac effectiveness in Serrana, Brazil.** Butantan. 2021.

BUSTIN AS, NOLAN T. **RT-qPCR Testing of SARS-CoV-2: A Primer.** Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 3004; doi:10.3390/ijms21083004 - <https://bit.ly/3zjelXq>. Acesso em: 18/05/2022.

BRASIL. **Lei Nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020** – LEI Nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020. Dispõe sobre as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus responsável pelo surto de 2019. 2019. Disponível em <https://bit.ly/3hGZaH2>. Acesso em: 18/05/2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 356, DE 11 DE MARÇO DE 2020** – Dispõe sobre a regulamentação e operacionalização do disposto na Lei nº 13.979, de 6 de fevereiro de 2020, que estabelece as medidas para enfrentamento da emergência de saúde pública de importância internacional decorrente do coronavírus (COVID-19). 2020a - <https://bit.ly/3lBWxr4>. Acesso em: 18/05/2022.

BRASIL. Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde - CTIE. **Diretrizes para diagnóstico e tratamento da COVID-19 Versão 3** – Abril de 2020b. Disponível em <https://bit.ly/3IEzxbk>. Acesso em: 18/05/2022.

BRASIL. **Nota Técnica GVIMS/GGTES/ANVISA Nº 04/2020** - orientações para serviços de saúde: medidas de prevenção e controle que devem ser adotadas durante a assistência aos casos suspeitos ou confirmados de infecção pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2) – atualizada em 25/02/2021. Gerência de Vigilância e Monitoramento em Serviços de Saúde Gerência Geral de Tecnologia em Serviços de Saúde Agência Nacional de Vigilância Sanitária - <https://bit.ly/3nETml9>. Acesso em: 18/05/2022.

BRASIL. **Lei Nº 8.080, de 19 de setembro de 1990**. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. 1990. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8080.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8080.htm) Acesso em: 18/05/2022.

BRASIL. **Ministério da saúde. Coronavírus**. Disponível em: <<https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#transmissao>>. Acesso em: 08/09/2020.

BRASIL. **Ministério da saúde. Guia de vigilância epidemiológica**. Brasília-DF, 2020.

BRITO, S.B.P. *et al.* **Pandemia da covid 19: o maior desafio do século XXI**. Revista visa em debate. Bahia, 2020.

BUENO, L.B. *et al.* **Dynamic of humoral response to SARS-CoV-2 anti-Nucleocapsid and Spike proteins after CoronaVac vaccination**. Diagnostic Microbiology and Infectious Disease. 2022.

CARDOSO, D. M. *et al.* **Análise e caracterização da produção científica sobre a covid-19 e sua associação com a mortalidade e ocorrência de casos**. Revista transformar. Agosto de 2020. ISSN 21758255.

CARVALHO, A.R.V.S. **Epidemiology, diagnosis, treatment, and future perspectives concerning SARS-CoV-2: a review article**. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9282.66.3.370> > Acesso em: 07/10/2020.

CDC. Center for Disease Control and Prevention (CDC). **Infection Prevention and Control for Patients with Suspected or Confirmed Coronavirus disease 2019 (COVID-19) in Healthcare Settings**. [Internet]. Atlanta: Center for Disease Control and Prevention; 2020 [revised 2020 dec 04; cited 2021 feb 23]. Disponível em <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/dental-settings.html>

CHIAPELLI, F. KHAUSHOY, A. e GREEBERG, G. **Covid 19 immunopathology and immunotherapy** DOI: 10.6026/97320630016222.

Coll, S.H. **Effectiveness the coronaVac vaccine in a region of the Colombia Amazon was her immunity achieved?** Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines. 2022.

DADALTO, L., ROYO, M.M. e COSTA, B.S. **Bioética e integridade científica nas pesquisas clínicas sobre Covid-19**. Revista Bioética. Brasília, 2020.

DIAS, H. C. M. V. *et al.* **Testes sorológicos para Covid-19**. *Jornal of Infection Control*. 2020 Vol.9 N.2.

DINC, H. O. *etal.* **Inactive SARS CoV vaccine generates high antibody responses in healthcare workers with and without prior infection**. *Vaccine*. Elsevier. 2021.

ENGELBRECHT FA, SCHOLLES RJ. **Test for Covid-19 seasonality and the risk of second waves**. *One Health*. 2021 Jun;12:100202. doi: 10.1016/j.onehlt.2020.100202. Epub 2020 Nov 29. PMID: 33283035; PMCID: PMC7700765.

ESTADO DE MINAS Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/bbc/2022/03/17/interna\\_internacional,1353340/covid-por-que-china-volta-a-estacionar](https://www.em.com.br/app/noticia/internacional/bbc/2022/03/17/interna_internacional,1353340/covid-por-que-china-volta-a-estacionar) Acesso em: 17/05/2022.

FABRI, A. C. O. C. et al. **Antigen-specific assessment of the immunological status of various groups in a leprosy endemic region.** BMC Infectious Diseases, London, v. 15, p. 218, mai. 2015.

GUO *et al.* **The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak – na update on the status.** Military medical research.2020.

IGLESIA, L.D.L.J. *et al.* **Predictive factors of Covid-19 in patients with negative RT-qPCR.** Medicina de família. Elsevier. 2020. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.semerg.2020.06.010>>Acesso em: 08/09/2020.

ISHIGE, T.*etal.* **Highly sensitive detection of SARS-CoV-2 RNA by multiplex rRT-PCR for molecular diagnosis of COVID-19 by clinical laboratories.** Clinicachimicaacta.Elsevier. 2020.

JÚNIOR, E.D.M.*et al.* **Safety and Efficacy of a third dose of BNT162b2 Covid-19 vaccine.** The England journal of medicine.Março de 2022.

KINLOCH, N. N.*et al.* Suboptimal biological sampling as a probable of false-negative Covid-19 diagnostic test results.Thejournal of infectious diseases. 2020.

KJELLBERG A, DOUGLAS J, PAWLIK MT, KRAUS M, OSCARSSON N, ZHENG X, BERGMAN P, FRÅNBERG O, KOWALSKI JH, NYREN SP, SILVANIUS M, SKOLD M, CATRINA SB, RODRIGUEZ-WALLBERG KA, LINDHOLM P. **Randomised, controlled, open label, multicentre clinical trial to explore safety and efficacy of hyperbaric oxygen for preventing ICU admission, morbidity and mortality in adult patients with COVID-19.** BMJ Open. 2021 Jul 5;11(7):e046738. doi: 10.1136/bmjopen-2020-046738. PMID: 34226219; PMCID: PMC8260306.

LI, C. *et al.* **Laboratory diagnosis of coronavirus disease-2019 (COVID-19).** Clinicachimicaacta. Elsevier. 2020.

LIMA,E.J.F *et al.* Reflexões sobre o uso das vacinas para COVID-19 em crianças e adolescentes. **Epidemiol. Serv. Saude. Brasília. 20210020040030030030030030035.**

LIPPI G., PLEBANNI, M. **The critical role of laboratory medicine during coronavirus disease 2019 (Covid-19) and other viral outbreaks.**Clinicalchemistryandlaboratory medicine. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/cclm-2020-0240>> Acesso em : 15/09/2020.

LIPPI, G., PLEBANI, M.**Resiliência dos laboratórios clínicos durante a pandemia de coronavírus 2019 (Covid-19).**J BrasPatolMed Lab. 2020.

LIU X, WANG J, XU X, LIAO G, CHEN Y, HU CH. **Patterns of IgG and IgM antibody response in COVID-19 patients.** EmergMicrobesInfect. 2020;9(1): 1269–74. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1773324>.

MAGALHÃES, S.SARS-Cov-2: **diagnóstico laboratorial.** Acta farmacêutica portuguesa 2020, vol. 9, n.1, pp.32-37.

MAGNO, L.*et al.* **Desafios e propostas para ampliação da testagem e diagnóstico da Covid-19 no Brasil.** Revista ciência e saúde coletiva. 2020.

MARINELLI, P.N. *etal.***Protocolo de manejo clínico do Covid-19: por que tantas mudanças?** Revista cuidar. 2020.

MARQUES, R. e RAIMUNDO, J.A. **O negacionismo científico refletido na pandemia de Covid-19.** Boa vista. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Caderno de ações para a vigilância e assistência à saúde das condições pós covid no âmbito do Ministério da Saúde.** Brasília, DF; 2022.

MONTE, L.M. *et al.* **Complicações atípicas e características clínico-epidemiológicas do Covid-19: uma revisão integrativa.** Revista eletrônica acervo saúde.

MUENA, N.A. *et al.* **Induction of SARS-CoV-2 neutralizing antibodies by CoronaVac and BNT162b2 vaccines in naïve and previously infected individuals.** Ebiomedicine. 2022.

NETTO, F.G.R; CORRÊA, N.W. J. **Epidemiologia do surto de doença por coronavírus (Covid-19). Revista desafios.** 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20873/uftsuple2020-8710>> Acesso em: 15/09/2020.

NETTO, R.G.F. e CORREA, J.W.N. **Epidemiologia por surto de doença coronavírus.** Revistadesafios. Manaus, 2020.

NICOL, T. *et al.* **Assessment of SARS-CoV-2 serological tests for the diagnosis of COVID-19 through the evaluation of three immunoassays: Two automated immunoassays (Euroimmun and Abbott) and one rapid lateral flow immunoassay (NG Biotech).** Journal of Clinical Virology. Elsevier. 2020.

OLIVEIRA, A. B. *et al.* **SARS CoV-2 and the Covid-19 disease: a mini review on diagnostic methods.** Revista do instituto de medicina tropical de São Paulo. 2020. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S1678-9946202062044>> Acesso em: 08/09/2020.

OLIVEIRA, S. E, MATOS, F. M., MORAIS, N. L. C. A. **Perspectiva de resultados falso-negativos no teste de RT-PCR quando realizado tardiamente para o diagnóstico de Covid-19.** Interamerican Journal of medicina and health. Disponível em: <<https://doi.org/10.31005/iajmh.v3i0.90>> Acesso em: 08/09/2020.

OMS. Organização Mundial de Saúde. **Protocolos da OMS para diagnóstico laboratorial da COVID-19 - Diagnostic detection of 2019-nCoV by real-time RT-PCR 2020** – Disponível em <https://bit.ly/39c4PQQ>

OPAS. Organização panamericana de saúde. **Exames laboratoriais para a doença causada pelo novo coronavírus de casos suspeitos em humanos.** Mar 2020. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/covid19>>. Acesso em: 08/09/2020.

PIZZOL, D. L. J. *et al.* **Laboratory diagnosis for Covid-19: A mini-review.** Journal of the Brazilian Society of Tropical Medicine. Vol 53. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0037-8682-0451-2020>> Acesso em: 08/09/2020.

QUINTELLA, C.M. *et al.* **Vacinas para Coronavírus (Covid-19, SARS CoV-2): mapeamento preliminar de artigos, patentes, testes clínicos e mercado.** Cadernos de prospecção. Bahia. 2020.

**Recomendações provisórias para o uso da vacina AZD 1222 (CaAdOx1-S recombinante contra covid 19, desenvolvida pela Universidade de Oxford e Secretaria de estado de saúde pública (SESPA). Casos de coronavírus no Pará.** Disponível em: <<https://www.covid-19.pa.gov.br/#/>>. Acesso em: 14/09/2020.

SEO, G. *et al.* **Rapid detection of Covid-19 causative virus (SARS CoV-2) in human nasopharyngeal swab specimens using Field-effect transistor based biosensor.** ACS nano. 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1021/acsnano.0c02823>> Acesso em: 08/09/2020.

SESPA. **Coronavírus.** Disponível em: <http://www.saude.pa.gov.br/rede-sespa/coronavirus> Acesso em: 18/05/2022.

Silva, A.W.C. *et al.* **Perfil epidemiológico e determinante social da covid-19 em Macapá – Amapá.** Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento. 2020.

SILVA, C.T. et al. **Effectiveness of Coronavac, ChAdOx1n Cov-19, BNT162b2, and Ad26.Cov 2.S among individuals with previous SARS CoV-2 infection in Brazil: a teste negative, case control study.** The lancet infectious disease. 2021.

SILVA, D.F. e OLIVEIRA, M.F.C. **Epidemiologia da covid-19: comparações entre boletins epidemiológicos.** Comunicação em ciências da saúde. 2020.

SURYATMA, A. et al. **Effectiveness of the inactivated COVID-19 Vaccine (CoronaVac) in Adult Population in Bali, Indonesia.** 2021.

TAJIMA, Y., YASUO S., YANO, K. et al. **A case report of SARS-CoV-2 confirmed in saliva specimens up to 37 days after onset: Proposal of saliva specimens for COVID-19 diagnosis and virus monitoring.** Journal of Infection and Chemotherapy. Elsevier. 2020.

TANG, W. Y et al. **Laboratory Diagnosis of COVID-19: Current Issues and Challenges.** Journal of clinical microbiology. 2020.

TEICH, V. D. et al. **Características epidemiológicas e clínicas dos pacientes com Covid-19 no Brasil.** Instituto israelita de ensino e pesquisa Albert Einstein. 2020. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.31744/einstein\\_journal/2020AO6022](http://dx.doi.org/10.31744/einstein_journal/2020AO6022)> Acesso em: 07/10/2020.

VALLINOTO A.C.R., DA SILVA TORRES M.K., VALLINOTO M.C., CAYRES VALLINOTO I.M.V. **The challenges of COVID-19 in the Brazilian Amazonian communities and importance of seroepidemiological surveillance studies.** Int J Equity Health. 2020;19(1):140. <https://doi.org/10.1186/s12939-020-01256-7>.

VIEIRA, L. M. F., EMERY, E., ANDRIOLO A., **Covid-19 Diagnóstico laboratorial para clínicos.**

WU, Di et al. **The SARS-CoV-2 outbreak: What we know.** International journal of infectious diseases. 2020.

XAVIER, R. A. et al. **Covid-19: manifestações clínicas e laboratoriais na infecção pelo novo coronavírus.** J Bras Patol Med Lab. 2020; 56: 1-9.

YANG S, STANZIONE N, USLAN DZ, GARNER OB, DE ST MAURICE A. **Clinical and Epidemiologic Evaluation of Inconclusive COVID-19 PCR Results Using a Quantitative Algorithm.** Am J Clin Pathol. 2021 Feb 11;155(3):376-380. doi: 10.1093/ajcp/aqaa251. PMID: 33274731; PMCID: PMC7799210.

ZAO, WEI. et al. **Status of Humoral and Cellular Immune Responses within 12 months Following CoronaVac Vaccination against COVID-19.** 2021.

ZEN, Y et al. **Dynamic SARS CoV-2-specific and T cell responses following imunization with an inactivated Covid-19 vaccine.** Clinical microbiology and infection. Elsevier. 2021.

# INFLUENCE OF 2,4-D CONCENTRATION IN THE 2,4-D/LDH HYBRID NANOCOMPOSITE SYNTHESIS USED AS CONTROLLED RELEASE FORMULATION



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430106>

*Data de aceite: 13/11/2024*

**Julia Ismerio Cardoso**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto Politécnico (UERJ-IPRJ)

**João Luiz Martins Mattoso Câmara**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto Politécnico (UERJ-IPRJ)

**Bruno Muniz e Souza**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto Politécnico (UERJ-IPRJ)

**Sabrina Guimarães Sanches**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto Politécnico (UERJ-IPRJ)

**Marcio Felipe de Oliveira**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto de Química (UERJ - IQ)

**Aderval Severino Luna**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto de Química (UERJ - IQ)

**José Licarion Pinto Segundo Neto**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto de Química (UERJ - IQ)

**Raquel Pires Gonçalves**

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas  
(CBPF)

**Jhonny Oswaldo Huertas Flores**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,  
Instituto Politécnico (UERJ-IPRJ)

**ABSTRACT:** The synthesis of the 2,4-D/LDH hybrid nanocomposite, a novel approach, was carried out using the direct coprecipitation method at three different concentrations of 2,4-D (0.10, 0.20, and 0.40 mol/L). The X-ray diffraction and infrared spectra analyses confirmed the successful incorporation 2,4-D into the ZnAl-LDH matrix at the chosen concentrations. The insertion of 2,4-D into the interlayer increased the basal spacing from 7.8 Å to values above 23 Å. The higher the herbicide concentration, the more 2,4-D was introduced, resulting in increased crystallinity and a higher herbicide release capacity at equilibrium. The release of 2,4-D was primarily governed by the ion exchange mechanism between carbonate ions in solution and interlayer 2,4-D, and the pseudo-second-order kinetic model best described the release profile.

**KEYWORDS:** 2,4-D, hybrid composites, coprecipitation method, influence of 2,4-D concentration, layered double hydroxides.



## INTRODUCTION

Agrochemicals, or phytosanitary products, are substances used in agriculture to protect plants against pests, diseases, and weeds, aiming to increase crop productivity. These products include pesticides, herbicides, fungicides, and chemical fertilizers. Although they play an essential role in large-scale food production, agrochemicals also raise environmental and health concerns due to their potential negative impacts (Elfvendahl *et al.*, 2004; Relyea, 2005; Zhang *et al.*, 2018). For this reason, it is essential to adopt sustainable agricultural practices and adequate regulations to minimize the risks associated with agrochemicals, ensuring food safety and environmental protection. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) is Brazil's second most widely used herbicide, behind only glyphosate (Brovini *et al.*, 2021). It is also widely used worldwide in agriculture to control broadleaf weeds (Lozano *et al.*, 2018). However, its use has been limited due to its persistence in the environment. Due to its high water solubility, the herbicide is not easily absorbed by the soil, undergoes leaching, and causes pollution of surface and groundwater (Cox *et al.*, 2000). In addition, the half-life of 2,4-D in water can exceed 120 days under anaerobic conditions (World Health Organization, 2003). In other words, 2,4-D poses a threat of water contamination and is among the priority contaminants of most significant environmental concern (Hamilton *et al.*, 2003; World Health Organization, 2003).

Studies using Controlled Release Formulations (CRFs) have been carried out to minimize contamination from herbicides applied in liquid form, in which the herbicide is incorporated into the matrix of a crystalline structure forming a solid or nanocomposite before application, facilitating its handling and limiting its use in large quantities in planting areas (Barik, Sahu e Swain, 2008; Celis *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2009; Maqueda *et al.*, 2008; Mukhopadhyay, 2014; Phuong *et al.*, 2017). Layered double hydroxides (LDH), which can be hydrotalcite-type materials, have a structure similar to brucite and can be found in nature or produced synthetically. One of their distinctive features is the ability to be synthesized with various cation compositions in the lamellar layer and anions in the interlayer. This versatility has led LDHs to be used in a wide range of applications, such as drug carriers, herbicide carriers, biosensors, and nanocomposites (Benício *et al.*, 2017; Berber e Hafez, 2018; Kuthati, Kankala e Lee, 2015). Several studies have used LDH as a host structure for herbicides such as 2,4,5-trichlorophenoxybutyric acid (TBA) and 3,4-dichlorophenoxy-acetic acid (3,4D) (Ghazali, Hussein e Sarijo, 2013), 4-chlorophenoxy acetate (CPA) (Bashi *et al.*, 2016), 2,4,5-Trichlorophenoxy butyric acid (T BA) (Sarijo *et al.*, 2015), 4-(2,4-dichlorophenoxy) butyrate (DPBA) and 2-(3-chlorophenoxy) propionate (CPPA) (Hussein *et al.*, 2012), 2-(2,4-dichlorophenoxy) propionic acid (Hussein *et al.*, 2011), 3,4-dichlorophenoxyacetate (3,4D) and 2-methyldichlorophenoxyacetate (MCPA) (Sarijo, Ghazali e Hussein, 2015), 4-(2,4-dichlorophenoxy)butyrate (DPBA) (Hussein, M. Z. Bin *et al.*, 2009), terbutylazine (Bruna *et al.*, 2008) and 4-(2,4-dichlorophenoxy)butyric acid (DPBA) (Hashim *et al.*, 2007).

Layered double hydroxides (LDHs) have been emerging as suitable hosts for the herbicide 2,4-D because they have layered structures containing compensation anions in the interlayer space ideal for receiving 2,4-D molecules and forming a hybrid organic-inorganic nanocomposite structure (Bashi *et al.*, 2013; Kang e Park, 2022; Phuong *et al.*, 2017). 2,4-D/LDH nanocomposites can be synthesized directly via coprecipitation. No studies report the influence of coprecipitation synthesis conditions that favor the formation of the 2,4-D-based nanocomposite. Hashim *et al.* (2014) (Hashim *et al.*, 2014) present an analysis of the impact of cloprop concentration using coprecipitation and direct reaction methods. Bashi *et al.* (2016) (Bashi *et al.*, 2016) conducted a study on the influence of 2,4-D concentration on the synthesis of nanohybrid via direct reaction of ZnO with 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) solutions. Lakraimi *et al.* (2000) (Lakraimi *et al.*, 2000) also studied the influence of 2,4-D concentration on nanocomposite formation using the ion exchange method.

This study is part of a broader investigation to understand the influence of variables during synthesizing the 2,4-D/LDH hybrid nanocomposite using the direct coprecipitation method. Specifically, this work studied the impact of the concentration of 2,4-D during the synthesis of the nanohybrid on its physicochemical characteristics and release properties. Samples with different herbicide concentrations (0.10, 0.20, and 0.40 mol/L) were synthesized, keeping the pH, temperature, and aging time constant. The synthesis was carried out using Zn and Al chloride salts with a molar ratio of 4/1. The samples were characterized by X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Transmission Electron Microscopy (TEM) techniques. The release properties were studied using a sodium carbonate solution.

## METHODOLOGY

### Synthesis of the samples

Hybrid nanocomposite samples were synthesized using the direct coprecipitation method using different concentrations of the herbicide 2,4-D. Solution I containing  $\text{Cl}_2\text{Zn}$  (1.2 mol/L) and  $\text{Cl}_3\text{Al}$  (0.2 mol/L) and Solution II containing NaOH (2.0 mol/L) were slowly and simultaneously added to 200 mL of Solution III containing the herbicide 2,4-D at 70 °C, maintaining the pH at  $7 \pm 0.5$  and under intense stirring. Three concentrations of the 2,4-D herbicide solution (0.10, 0.20, and 0.40 mol/L) were used. After consumption of the reagents, the suspension formed was aged for four h at 70 °C. The solid formed was separated from the mother liquor by filtration and washed with approximately 600 mL of distilled water heated to 50 °C to eliminate soluble impurities. The samples were oven-dried for 24 h at 80 °C. The samples were labeled as 2,4-D/LDH-x, where 2,4-D is the herbicide, LDH is the layered double hydroxide, the host structure, and 'x' corresponds to the herbicide concentration during synthesis. 'x' assumes values of 0.10, 0.20, and 0.40, which correspond to the herbicide concentrations used in the synthesis. For comparative purposes, the LDH without herbicide was synthesized under the same conditions as the nanocomposite samples.

## Characterization

The samples were characterized by X-ray diffraction (XRD) on a Panalytical Empyrean X-Ray Diffractometer with CuK $\alpha$  radiation ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) at 45 kV and 40 mA. Fourier transform infrared (FTIR-ATR) spectra were obtained in the 4000–400  $\text{cm}^{-1}$  wavenumber region using an average of 60 scans with a resolution of 4  $\text{cm}^{-1}$  on a Perkin Elmer Frontier instrument. The morphology of the samples was studied using a high-resolution scanning electron microscope (SEM-FEG) model JSM-7100F from JEOL. Transmission electron microscopy (TEM) imaging was performed to analyze the samples of nanocomposites. The samples were prepared by diluting the nanocomposites powder in water and sonicating it for 5 min. A drop of the supernatant was then deposited on a glow-discharged copper grid and air dried. Samples were investigated using TEM in a JEOL 2100F operated at an accelerating voltage of 200 kV and equipped with an energy-dispersive X-ray spectrometer, EDS. The samples elemental composition was determined using a Perkin Elmer Spectrophotometer model Optima 2000DV under standard conditions and a CHNS analyzer CHNS-932 (LECO).

## Release studies in aqueous solution

The release of 2,4-D from the interlayer region of the nanocomposite was carried out according to the work of Hussein et al. (2009b) (Hussein, M. Z. *et al.*, 2009). 150 mg of the synthesized solid was added to 500 mL of an aqueous sodium carbonate solution (0.05 mol/L) under constant stirring at room temperature. The accumulated 2,4-D released in the solution was measured using a UV/VIS spectrophotometer model Cary 60 at  $\lambda_{\text{max}} = 283 \text{ nm}$ .

## DISCUSSION AND RESULTS

The LDH sample synthesized without herbicide showed reflections characteristic of layered double hydroxides, Figure 1(a). The (003) peak indicates the basal reflection of an inorganic counter-anion in the interlayer, in this case,  $\text{Cl}^-$  ions, whose basal spacing was 7.8  $\text{\AA}$  (Table 1). The reflections found in the LDH were narrow, symmetrical, and intense, demonstrating the formation of a well-crystallized structure. The XRD patterns of the hybrid nanocomposites showed reflections characteristic of LDH shifted to smaller  $2\theta$  angles. These reflections were less intense, indicating a decrease in crystallinity. It was also found that with the increase in the concentration of 2,4-D, the intensity of the XRD reflections of the hybrid nanocomposites increased. As shown in Table 1, the hybrid nanocomposites presented an expansion of the basal d003 spacing from 7.8  $\text{\AA}$  in LDH to 23.6, 23.7 and 23.9  $\text{\AA}$  in 2,4-D/LDH-0.1, 2,4-D/LDH-0.2 and 2,4-D/LDH-0.4, respectively. This result demonstrates that the 2,4-D molecules were intercalated between the brucite layers of LDH, as identified in literature (Hussein, M. Z. *et al.*, 2009; Hussein *et al.*, 2005). From the results found in the values of the lattice parameter 'c', shown in Table 1, it is confirmed that the expansion shows a specific spatial orientation characteristic of the larger 2,4-D anions in the LDH interlayer (Bashi *et al.*, 2013; Phuong *et al.*, 2017). The observed increase in the basal spacing value with increasing 2,4-D concentration was due to the rise in interlayer

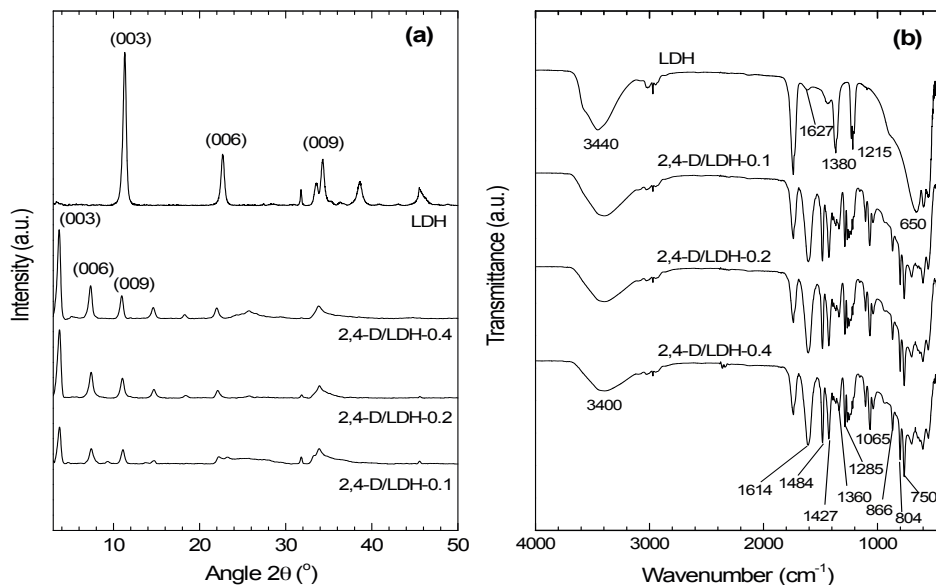
thickness, Table 1, which can be attributed to a specific arrangement of herbicide molecules in the LDH interlayer region. Weak reflections assigned to ZnO were observed in the 2 $\theta$  (in the range 30-35°) samples.

Sample	Zn/Al ratio	Basal distance d(003) (Å)	Lattice parameter (Å) c	Interlamellar distance (Å)
2,4-D/LDH-0.1	4.05	23.6	70.85	18.6
2,4-D/LDH-0.2	4.01	23.7	70.79	18.8
2,4-D/LDH-0.4	4.10	23.9	71.25	19.1
LDH	4.06	7.8	23.44	3.01

Table 1. Zn/Al molar ratio, basal spacing, and lattice parameters.

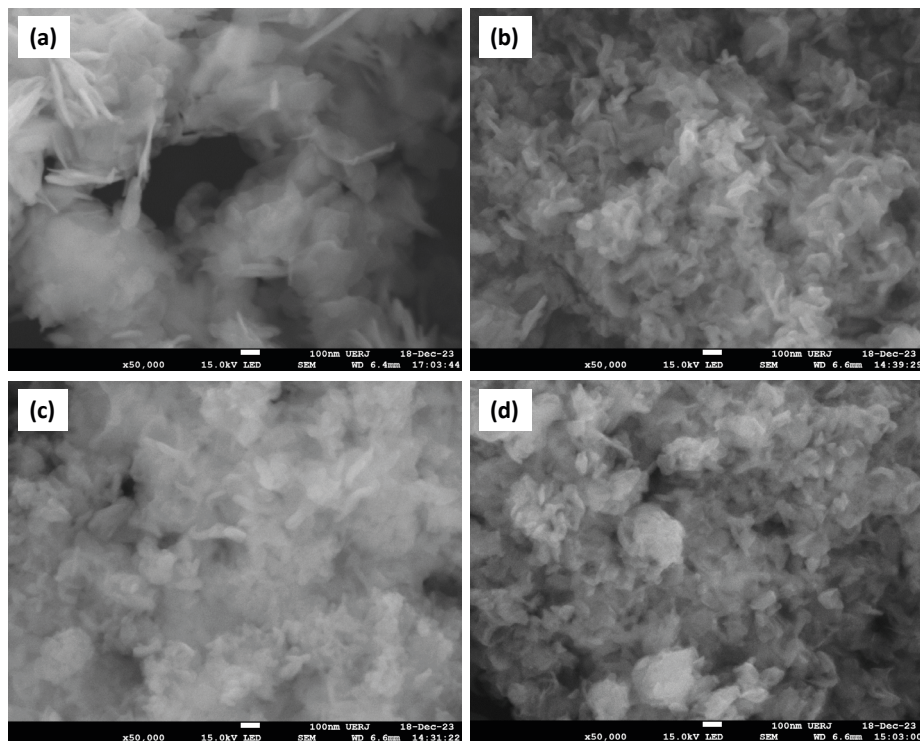
Figure 1(b) presents the infrared spectra of LDH and 2,4-D/LDH-x hybrid nanocomposites. The FTIR spectra of LDH reveal a broad band at 3440 cm<sup>-1</sup>, attributed to the stretching vibrations of the O-H bond in water molecules or hydroxyl groups (OH<sup>-</sup>) (Paiva *et al.*, 2008). The band at 1740 cm<sup>-1</sup> can be attributed to the vibrations of the hydroxyl groups of water molecules in the interlayer. The band at 1627 cm<sup>-1</sup> found in LDHs without herbicide corresponds to the deformation mode of interlayer water ( $\delta$ H<sub>2</sub>O) (Shabanian, Hajibeygi e Raeisi, 2020). The characteristic band near 1380 cm<sup>-1</sup> corresponds to the interlayer water deformation mode, while the intense bands observed between 800 cm<sup>-1</sup> and 400 cm<sup>-1</sup> are related to the stretching vibrations of the metal-oxygen bond (Zn-O and Al-O) present in the LDH structure (Meng *et al.*, 2005; Shabanian, Hajibeygi e Raeisi, 2020). The distortion of Cl<sup>-</sup> in the interlayer of Zn-Al-Cl is reflected in the IR spectra at 1215 cm<sup>-1</sup> and 650 cm<sup>-1</sup>, respectively (Mahjoubi *et al.*, 2017). These FTIR spectra provide a comprehensive understanding of the LDH and 2,4-D/LDH-x hybrid nanocomposites, enhancing our knowledge in this field.

The FTIR results play a pivotal role in confirming the insertion of 2,4-D into the LDH interlayer and the subsequent formation of the 2,4-D/LDH hybrid nanocomposite. These results complement the XRD findings and provide strong evidence for forming hybrid nanocomposites. The FTIR spectra of the hybrid nanocomposites show a combination of the FTIR spectra of the LDH, host structure, and 2,4-D guest molecule. In the nanohybrid samples, a band was found at 3400 cm<sup>-1</sup> corresponding to the internal OH hydrogen bond. The band observed at 1614 cm<sup>-1</sup> corresponds to the carboxylate ion. This band overlapped with the deformation mode of the water molecules in the interlayer domain found at 1627 cm<sup>-1</sup> (Hussein, M. Z. *et al.*, 2009). The bands found at 1484 cm<sup>-1</sup> and 1427 cm<sup>-1</sup> were attributed to the C=C bond vibrations of the 2,4-D aromatic ring, while the bands at 1285 cm<sup>-1</sup> and 1065 cm<sup>-1</sup> are the antisymmetric and symmetric vibrations of C–O–C, respectively. A band at 866 cm<sup>-1</sup> corresponds to the C–Cl vibration, while the C–H deformation vibration of the out-of-plane benzene group appeared at 750 cm<sup>-1</sup> and 804 cm<sup>-1</sup> (Cardoso *et al.*, 2006; Lakraimi *et al.*, 2000). The bands between 650 cm<sup>-1</sup> and 400 cm<sup>-1</sup> can be attributed to the Al–OH and Zn–Al–OH bond vibrations, respectively. These results provide a solid foundation for our research findings and conclusions.



**Figure 1.** (a) XRD patterns and (b) FTIR spectra of the samples synthesized at different 2,4-D concentrations.

It can be seen from the micrograph of the LDH without herbicide, Figure 2(a), that the morphology found is typical of LDHs, formed by irregular, plate-shaped particles with a thickness of less than 100 nm (Phuong *et al.*, 2017). The images of the hybrid nanocomposites, Figure 2(b-d), clearly show aggregates of more minor, irregular, and disordered particles in the shape of leaves or petals, characteristics of the 2,4-D/LDH nanocomposite, in agreement with the findings in literature (Ghazali, Hussein e Sarijo, 2013; Hussein *et al.*, 2005). The thickness of these particles was less than 100 nm, and an increase in thickness was found with increasing herbicide concentration. This morphology was attributed to 2,4-D in the LDH host structure. The results obtained by microscopy confirm the XRD results. The change in the morphology of the samples when passing from the LDH without herbicide to the nanocomposites and its evolution as the concentration of the 2,4-D herbicide increases reveals a progressive transformation of the LDH into a lamellar structure intercalated with 2,4-D [28]. These results are consistent with the results presents in literature (Bashi *et al.*, 2013; Hussein, M. Z. Bin *et al.*, 2009; Phuong *et al.*, 2017).

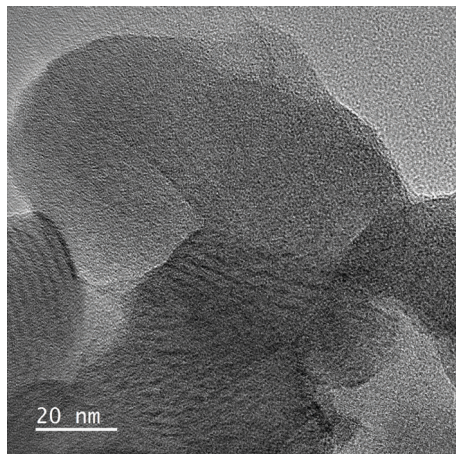


**Figure 2.** SEM micrographs of (a) LDH, (b) 2,4-D/LDH-0.1, (c) 2,4-D/LDH-0.2, and (d) 2,4-D/LDH-0.4.

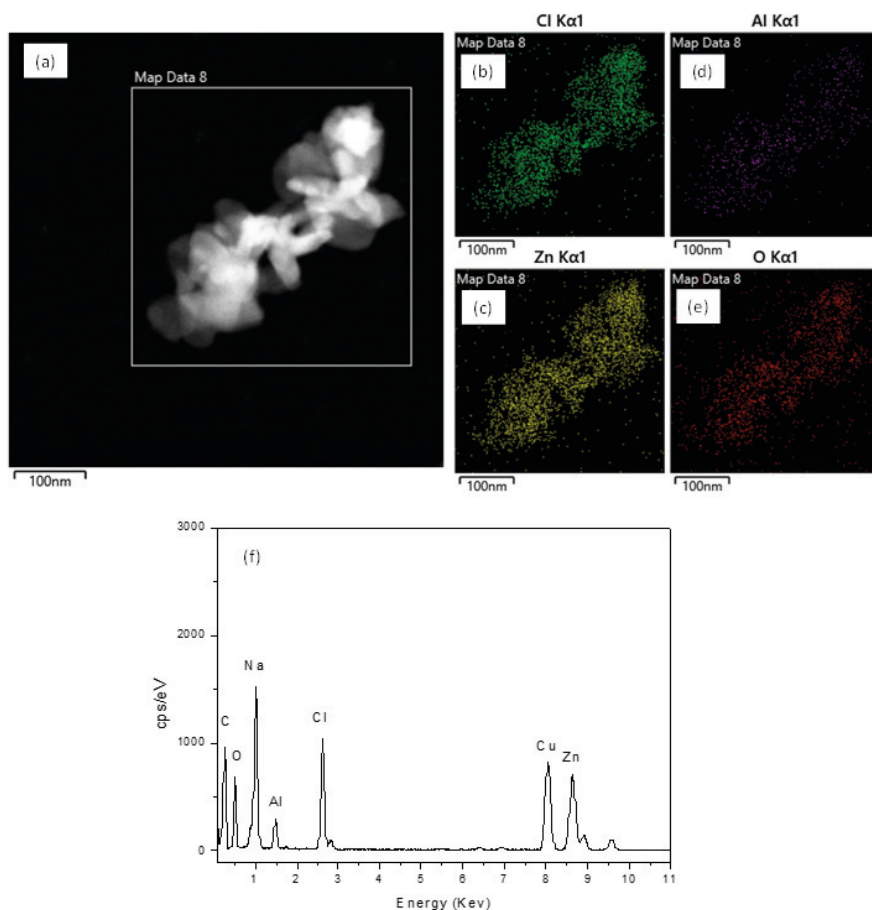
The TEM image of the 2,4-D/LDH-0.4 sample shows the insertion of 2,4-D into the LDH's lamellar structure, causing an expansion of the basal spacing, Figure 3. In the micrograph, particles showing stripes can be observed, which would be the layers of the hybrid nanocomposite's lamellar structure. The thickness of the stripes would be around 2 nm ( $\sim 20 \text{ \AA}$ ), which agrees with the basal spacing values found in the XRD results in Table 1.

Transmission electron microscopy was used to analyze the nanohybrid sample in more detail. Figure 4(a) shows a representative TEM image of an aggregate of particles from the 2,4-D/LDH-0.4 sample. The EDS maps show the distinct chemical composition of the particles in Figure 4(b-e). The particles of the hybrid nanocomposite present a high concentration of Cl and Zn, Figure 4(b and c). The Cl concentration is attributed to the herbicide 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid,  $\text{C}_8\text{H}_6\text{Cl}_2\text{O}_3$ ) inserted in the interlayer region, and in the case of Zn, the high concentration found would be related to the presence of the metal in the octahedrons that form the brucite layers. The lower Al content observed is consistent with the Zn/Al molar ratio of 4/1 used in the synthesis. The EDS energy is also shown in Figure 4(f).





**Figure 3.** High-resolution transmission electron microscopy image of the 2,4-D/LDH-0.4 sample.



**Figure 4.** Transmission electron microscopy of a 2,4-D/LDH-0.4 sample. Morphology and chemical analysis using different imaging modes: (a) STEM images using the high-angle annular dark-field detector (HAADF); (b-e) EDS maps showing the distribution of relevant chemical elements (Cl in green, Zn in yellow, Al in purple, and O in red); and (f) EDS energy peaks.

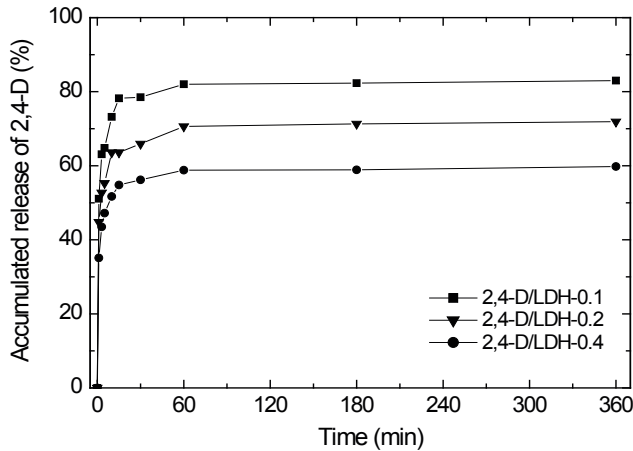
## RELEASE OF 2,4-D FROM THE 2,4-/LDH HYBRID NANOCOMPOSITE

### Controlled release study

Figure 5 shows the release profile 2,4-D from the 2,4-D/LDH hybrid nanocomposites synthesized with different concentrations of 2,4-D in aqueous sodium carbonate solution with a concentration of 0.05 mol/L. The accumulated 2,4-D released in the aqueous solution increased with time. The release rate was found to be faster in the first 30 min, then the release was slower. Equilibrium was reached around 60 min. Equations are fast when the hybrid nanocomposite is suspended in aqueous  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  solutions (Hussein *et al.*, 2005). The 2,4-D contents inserted into the LDH interlayer determined by CHNS analysis were 53.9, 55.9 and 59.5% for samples 2,4-D/LDH-0.1, 2,4-D/LDH-0.2 and 2,4-D/LDH-0.4, respectively. Hybrid nanocomposites with higher 2,4-D content in the nanohybrid structure showed higher levels of 2,4-D released accumulated at equilibrium. The percentage of 2,4-D released at equilibrium was 59.8, 71.9, and 83% for samples 2,4-D/LDH-0.1, 2,4-D/LDH-0.2, and 2,4-D/LDH-0.4, respectively.

In aqueous solutions of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , the high concentration of ions cause an ion exchange with 2,4-D within the nanocomposite structure. ions are incorporated into the nanohybrid interlayer, allowing the simultaneous release of 2,4-D; in other words, the formation of a -LDH would occur (Hussein *et al.*, 2005). The exchange of a smaller anion for a larger 2,4-D anion decreases the basal spacing, which would be easily observed in an XRD analysis. The amount of 2,4-D released at equilibrium was more significant in nanohybrids with a higher herbicide content in their structure. This observation may be related to the orientation and arrangement of the anion in the matrix interlayer. An anion well organized in the host structure during intercalation is believed to form a nanohybrid with much more excellent crystallinity. The release of the intercalated guest in the nanohybrid with high crystallinity and larger particle size would be slower than those with lower crystallinity and smaller size. It can be due to the stability of the anionic arrangement, as previously discussed. However, the results of this study show the opposite behavior. The increase in the 2,4-D content in the nanohybrid favored the formation of a structure with higher crystallinity, which produced a higher release at equilibrium conditions. That said, the results obtained show that the release of 2,4-D from nanohybrids with different herbicide contents may be due to two specific factors: (i) the higher herbicide content within the nanohybrid structure facilitates more significant dissolution of the nanohybrid, allowing the structure to collapse more efficiently, contributing to a more significant amount of 2,4-D released at equilibrium and (ii) a more ordered arrangement of 2,4-D molecules in the interlayer region in nanohybrids with higher 2,4-D content facilitates more efficient ion exchange.





**Figure 5.** Release profiles of 2,4-D from the interlamellae of hybrid nanocomposite synthesized at different 2,4-D concentrations.

## KINETIC STUDY

Investigating the kinetics of 2,4-D release from hybrid nanocomposites is essential to understanding the mechanisms involved, highlighting the importance of kinetic models in predicting and controlling the release behavior of these materials. The release of the herbicide could be described either by the dissolution of the LDH or by diffusion through the LDH (Hussein, M. Z. *et al.*, 2009). The kinetics of this release can be evaluated through several models: zero-order, first-order, pseudo-second-order, and parabolic diffusion. Following, respectively, Equations (1), (2), (3), and (4).

$$x = t + C \quad (1)$$

$$-\log(1 - M_i / M_f) = t + C \quad (2)$$

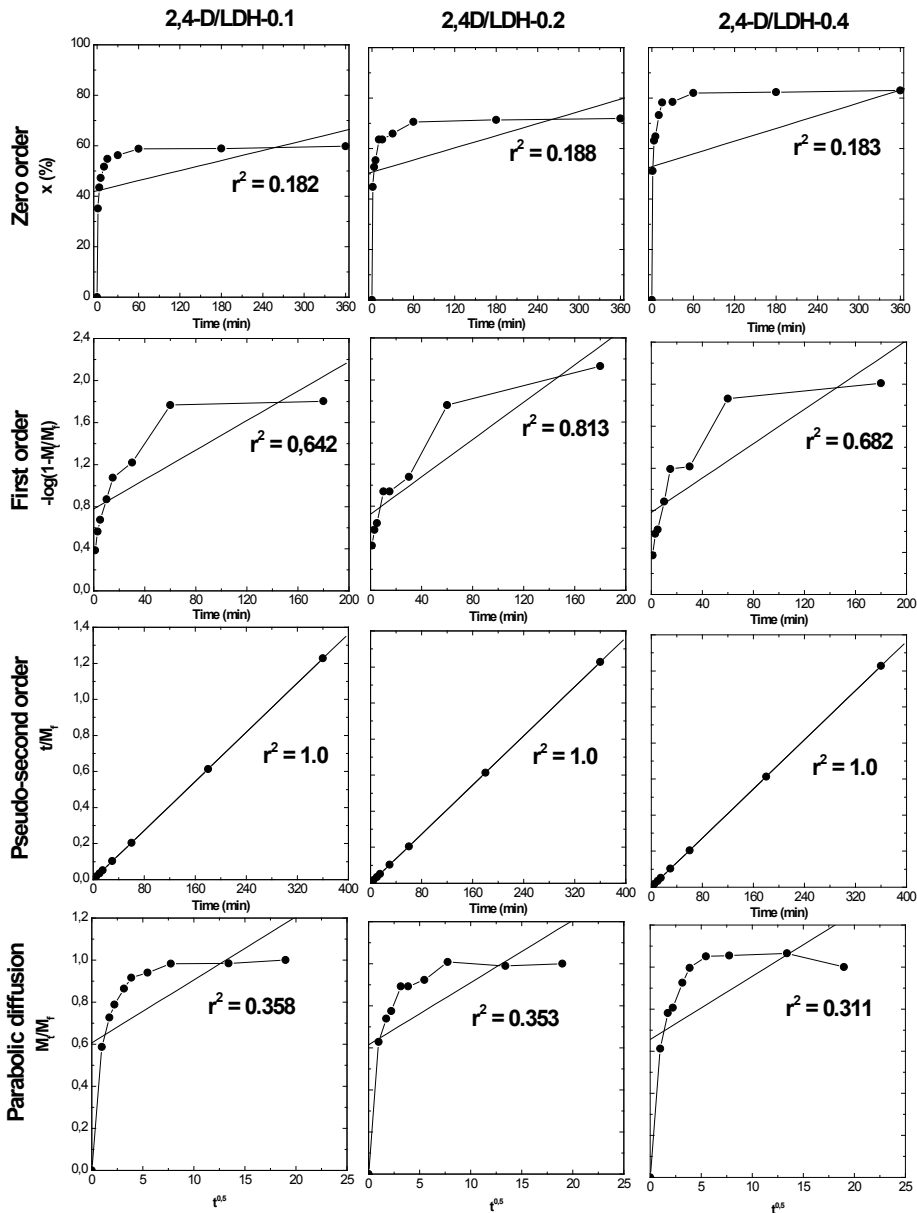
$$t / M_i = 1 / kM_f^2 + t / M_f \quad (3)$$

$$M_i / M_f = kt^{0.5} + C \quad (4)$$

where  $x$  is the release percentage at time  $t$ , and  $C$  is a constant.  $M_t$  represents the concentration of 2,4-D at time  $t$ ,  $M_f$  represents the final concentration of 2,4-D, and  $k$  is a rate constant. At  $t = 0$ ,  $M_t = M_i$ , the initial concentration of 2,4-D.  $M_i$  and  $M_f$  in equation (4) are the herbicide's initial and final concentrations, respectively.

For comparative purposes of the study of 2,4-D release kinetics, the four different kinetic models were applied to study the behavior of the release process. Based on the results presented in Figure 6, it is observed that the pseudo-second-order model presents a better fit to the experimental data, as can be seen by the values of the correlation coefficients ( $r^2$ ) equal to 1. The pseudo-second-order model fits better than others for short intervals (Hussein, M. Z. *et al.*, 2009). By linearizing the other models, it can be observed that they

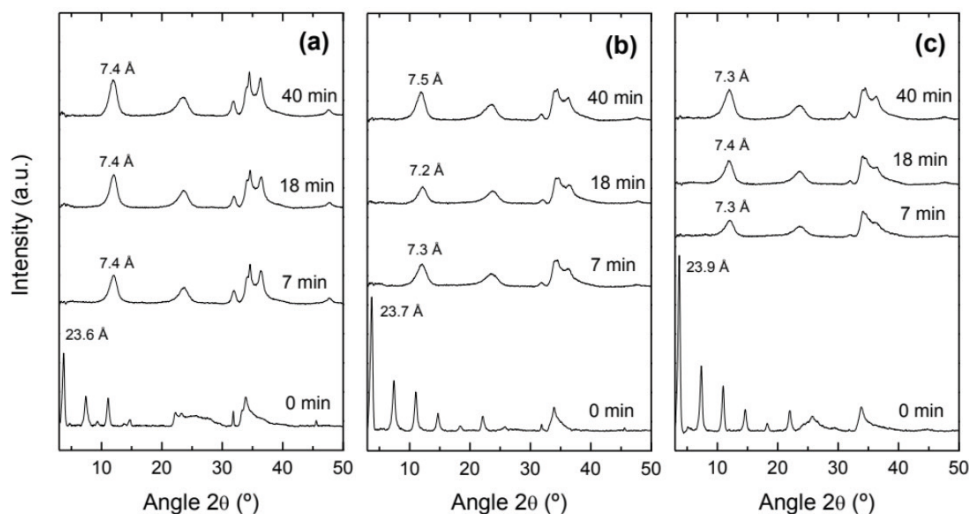
do not fit well with the experimental data. The study of the kinetic behavior of a process in which the pseudo-second-order model is identified as the most appropriate suggests that the release of 2,4-D from the inorganic interlayer of LDH involved the dissolution of the nanohybrids, as well as the ion exchange between the anions intercalated in the LDH interlayer and the carbonate anions in the aqueous solution, which is controlled by the pseudo-second-order (Hussein *et al.*, 2011). These results indicate that LDH can host 2,4-D due to its controlled release properties.



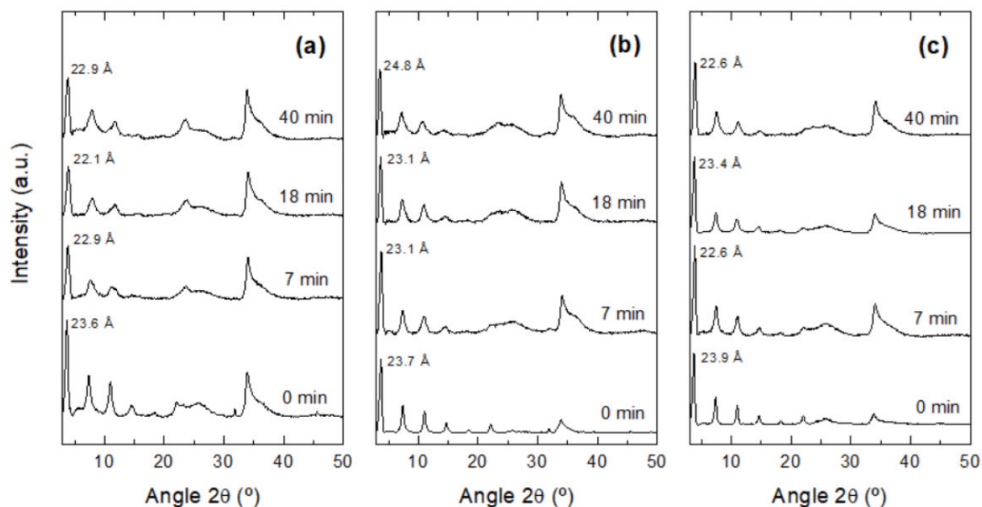
**Figure 6.** Fitting the release of 2,4-D from hybrid nanocomposite.

## CHARACTERIZATION OF HYBRID NANOCOMPOSITES AFTER 2,4-D RELEASE

Following the model proposed by Hussein et al. (2005) (Hussein *et al.*, 2005), to obtain an insight into the ion exchange phenomenon, samples resulting from release tests interrupted at 7, 18, and 40 min from aqueous  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  solutions were recovered, dried, and analyzed by XRD, SEM, and FTIR. Samples of the nanohybrid from the release tests performed in deionized water at the exact times as the tests performed in saline aqueous solution were also recovered. The results of the XRD analyses can be seen in Figure 7(a-c). The results obtained for the samples after the release tests in  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  saline solution show that there was an angular dephasing of the peak corresponding to the atomic plane (003) after 7 min of testing compared to the samples at 0 min. The peaks found after 7 min of release test correspond to the peaks of the hydrotalcite phase with basal spacing smaller than that of the nanohybrids (from  $\sim 23.7$  Å to  $\sim 7.4$  Å), suggesting that the carbonate ions replaced the herbicide anions causing a decrease in the basal spacing due to the smaller size of the carbonate anion when compared to the size of the herbicide molecule. However, when comparing the patterns of the samples after the release test in deionized water, Figure 8(a-c), at different test times, it is observed that the recovered samples did not present a shift in the diffraction peaks, indicating that there was no release of the herbicide and the structure remained the same compared to the initial material as found in literature (Hussein *et al.*, 2005). It demonstrates that the basic crystalline structure of the nanocomposites is maintained regardless of the concentration of 2,4-D within the nanohybrid.

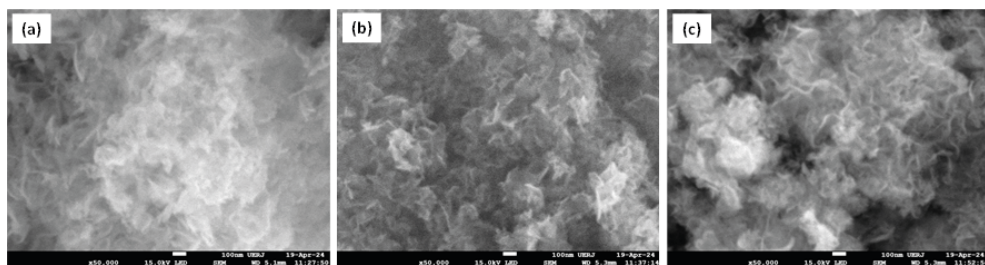


**Figure 7.** Diffraction patterns of the samples synthesized at different aging times recovered from  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  saline solution during the release test at various times: (a) 2,4-D/LDH-0.1, (b) 2,4-D/LDH-0.2 and (c) 2,4-D/LDH-0.4.



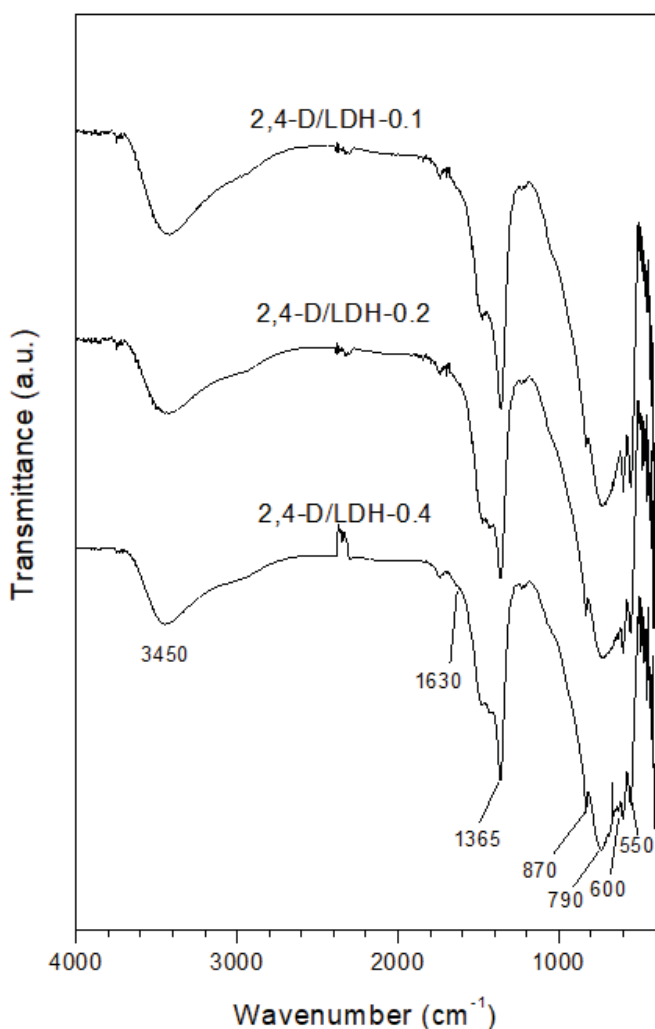
**Figure 8.** Diffraction patterns of the samples synthesized at different aging times recovered from deionized water at various release times: (a) 2,4-D/LDH-0.1, (b) 2,4-D/LDH-0.2, and (c) 2,4-D/LDH-0.4.

The morphology of the hybrid nanocomposites after 40 min of release is formed by aggregates of particles with a flower petal shape, similar to the samples before the release of the herbicide, Figure 9(a-c). Aggregates of larger particles with longer sheets were found in the samples synthesized with higher 2,4-D content. The thickness of the lamellar particles was found to be less than 100 nm. This result demonstrates that during the 2,4-D release process, the structure of the nanocomposite formed by brucite lamellae intercalated by 2,4-D molecules, after the release via anion exchange of the herbicide by the anion, regenerates, forming a lamellar structure characteristic of ZnAl-hydrotalcite containing a smaller anion in the interlayer, but maintaining the particle size without altering its morphology like thin folded sheets.



**Figure 9.** SEM micrographs of nanohybrid samples after 40 min of the release tests: (a) 2,4-D/LDH-0.1, (b) 2,4-D/LDH-0.2, and (c) 2,4-D/LDH-0.4.

The infrared spectra of the hybrid nanocomposites after 40 min of release showed a broad and robust band centered at  $3450\text{ cm}^{-1}$  and attributed to the stretching of the OH bond of the hydroxyl groups and  $\text{H}_2\text{O}$  molecules, Figure 10. The weak band at  $1630\text{ cm}^{-1}$  can be attributed to the  $\text{H}_2\text{O}$  bending vibration of the interlayer water. The bands recorded at  $550\text{ cm}^{-1}$  and  $790\text{ cm}^{-1}$  are attributed to the Zn/Al-OH translation and Al-OH deformation, respectively (Mahjoubi *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2005). The band found at  $1365\text{ cm}^{-1}$  is attributed to carbonate's antimetric stretching mode ( $\nu_3$ ). The bands observed around  $870\text{ cm}^{-1}$  and  $600\text{ cm}^{-1}$  are attributed to the weak nonplanar bending mode ( $\nu_2$ ) and angular bending mode ( $\nu_4$ ) of carbonate, respectively (Yasaei *et al.*, 2019). These results confirm that 2,4-D was exchanged for anions during the release process.



**Figure 10.** FTIR spectra of samples recovered after 40 min of 2,4-D herbicide release test.

## CONCLUSION

It can be concluded from this work that different levels of 2,4-D were introduced into the ZnAl-LDH structure, forming a 2,4-D/LDH hybrid nanocomposite. 2,4-D produces structural and morphological changes in the host material. The increase in the basal spacing of the lamellar structure confirms that 2,4-D was inserted between the brucite lamellae with a spatial orientation defined by the increase in the lattice parameter 'c'. Particles with lamellar shape and irregular morphology were found in all samples of the hybrid nanocomposite. The increase in the concentration of the 2,4-D herbicide allowed the encapsulation of higher levels of the herbicide in the interlayer, favoring a more crystalline structure with greater 2,4-D release capacity. The release kinetics found were pseudo-second-order, and the herbicide release mechanism from the nanohybrid was dominated by the ion exchange between carbonate anions and 2,4-D molecules.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank FAPERJ for the economic support (E\_26/211.846/2021), Laboratório de Raios-X do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) for the XRD analyses, Laboratório Multiusuário de Nanofabricação e Caracterização de Materiais da UERJ (NANOFAB) for analyzing the samples in the SEM, Laboratório de Cinética e Catálise (LCC) do Instituto de Química de UERJ for FTIR analysis, and the Laboratório de Tecnologia Analítica de Processos (LTAP) do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

## REFERENCES

- BARIK, T. K.; SAHU, B.; SWAIN, V. Nanosilica - From medicine to pest control. *Parasitology Research*, v. 103, n. 2, p. 253–258, 2008.
- BASHI, A. M. *et al.* Simultaneous intercalation and release of 2,4-dichloro- and 4-chloro-phenoxy acetates into Zn/Al layered double hydroxide. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 9, p. S1457–S1463, 2016.
- BASHI, A. M. *et al.* Synthesis and controlled release properties of 2,4-dichlorophenoxy acetate-zinc layered hydroxide nanohybrid. *Journal of Solid State Chemistry*, v. 203, p. 19–24, 2013.
- BENÍCIO, L. P. F. *et al.* Layered Double Hydroxides: New Technology in Phosphate Fertilizers Based on Nanostructured Materials. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, v. 5, n. 1, p. 399–409, 2017.
- BERBER, M. R.; HAFEZ, I. H. Synthesis of a New Nitrate-Fertilizer Form with a Controlled Release Behavior via an Incorporation Technique into a Clay Material. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 101, n. 6, p. 751–757, 2018.
- BROVINI, E. M. *et al.* Three-best-seller pesticides in Brazil: Freshwater concentrations and potential environmental risks. *Science of the Total Environment*, v. 771, 2021.
- BRUNA, F. *et al.* Organohydrotalcites as novel supports for the slow release of the herbicide terbutylazine. *Applied Clay Science*, v. 42, n. 1–2, p. 194–200, 2008.

CARDOSO, L. P. *et al.* Layered double hydroxides as supports for the slow release of acid herbicides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 54, n. 16, p. 5968–5975, 2006.

CELIS, R. *et al.* Inorganic and organic clays as carriers for controlled release of the herbicide hexazinone. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 50, n. 8, p. 2324–2330, 2002.

COX, L. *et al.* Natural soil colloids to retard simazine and 2,4-D leaching in soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 48, n. 1, p. 93–99, 2000.

ELFVENDAHL, S. *et al.* Pesticide pollution remains severe after cleanup of a stockpile of obsolete pesticides at Vikuge, Tanzania. *Ambio*, v. 33, n. 8, p. 503–508, 2004.

GHAZALI, S. A. I. S. M.; HUSSEIN, M. Z.; SARIJO, S. H. 3,4-dichlorophenoxyacetate interleaved into anionic clay for controlled release formulation of a new environmentally friendly agrochemical. *Nanoscale Research Letters*, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2013.

HAMILTON, D. J. *et al.* Regulatory limits for pesticide residues in water (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, v. 75, n. 8, p. 1123–1155, 2003.

HASHIM, N. *et al.* Formation of zinc aluminium layered double hydroxides-4(2,4-dichlorophenoxy) butyrate nanocomposites by direct and indirect methods. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, v. 11, n. 1, p. 1–7, 2007.

HASHIM, N. *et al.* Synthesis and controlled release of cloprop herbicides from cloprop-layered double hydroxide and cloprop-zinc-layered hydroxide nanocomposites. *Open Journal of Inorganic Chemistry*, v. 04, n. 01, p. 1–9, 2014.

HUSSEIN, M. Z. BIN *et al.* Controlled release formulation of agrochemical pesticide based on 4-(2,4-dichlorophenoxy)butyrate nanohybrid. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, v. 9, n. 3, p. 2140–2147, 2009.

HUSSEIN, M. Z. BIN *et al.* Nanocomposite-based controlled release formulation of an herbicide, 2,4-dichlorophenoxyacetate encapsulated in zinc-aluminium-layered double hydroxide. *Science and Technology of Advanced Materials*, v. 6, n. 8, p. 956–962, 2005.

HUSSEIN, M. Z. *et al.* Synthesis of Dichlorprop-Zn/Al-hydrotalcite Nanohybrid and its Controlled Release Property. *Sains Malaysiana*, v. 40, n. 8, p. 887–896, 2011.

HUSSEIN, M. Z. *et al.* The effect of single, binary and ternary anions of chloride, carbonate and phosphate on the release of 2,4-dichlorophenoxyacetate intercalated into the Zn-Al-layered double hydroxide nanohybrid. *Nanoscale Research Letters*, v. 4, n. 11, p. 1351–1357, 2009.

HUSSEIN, M. Z. *et al.* Synthesis of a monophasic nanohybrid for a controlled release formulation of two active agents simultaneously. *Applied Clay Science*, v. 58, p. 60–66, 2012.

KANG, G. H.; PARK, I. K. Reconstruction and intercalating anion exchange of ZnAl-layered double hydroxide. *Ceramics International*, v. 48, n. 3, p. 3030–3036, 2022.

KUTHATI, Y.; KANKALA, R. K.; LEE, C. H. Layered double hydroxide nanoparticles for biomedical applications: Current status and recent prospects. *Applied Clay Science*, v. 112–113, p. 100–116, 2015.

LAKRAIMI, M. *et al.* Preparation of a new stable hybrid material by chloride-2,4- dichlorophenoxyacetate ion exchange into the zinc-aluminium-chloride layered double hydroxide. *Journal of Materials Chemistry*, v. 10, n. 4, p. 1007–1011, 2000.

- LI, J. *et al.* Addition of modified bentonites in polymer gel formulation of 2,4-D for its controlled release in water and soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 57, n. 7, p. 2868–2874, 2009.
- LOZANO, V. L. *et al.* Effects of glyphosate and 2,4-D mixture on freshwater phytoplankton and periphyton communities: a microcosms approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 148, p. 1010–1019, 2018.
- MAHJOUBI, F. Z. *et al.* Zn–Al layered double hydroxides intercalated with carbonate, nitrate, chloride and sulphate ions: Synthesis, characterisation and dye removal properties. *Journal of Taibah University for Science*, v. 11, n. 1, p. 90–100, 2017.
- MAQUEDA, C. *et al.* Novel system for reducing leaching of the herbicide metribuzin using clay-gel-based formulations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 56, n. 24, p. 11941–11946, 2008.
- MENG, J. *et al.* Novel layered pesticide slow/controlled release materials - Supramolecular structure and slow release property of glyphosate intercalated layered double hydroxides. *Chinese Science Bulletin*, v. 50, n. 8, p. 745–751, 2005.
- MUKHOPADHYAY, S. S. Nanotechnology in agriculture: prospects and constraints. *Nanotechnology, Science and Applications*, v. 7, n. 2, p. 63–71, 4 ago. 2014.
- PAIVA, D. L. *et al.* Introduction to spectroscopy. 4. ed. Cengage Learning, 2008.
- PHUONG, N. T. K. *et al.* Herbicide/Zn-Al-layered double hydroxide hybrid composite: synthesis and slow/controlled release properties. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 23, p. 19386–19392, 2017.
- RELYEA, R. A. THE IMPACT OF INSECTICIDES AND HERBICIDES ON THE BIODIVERSITY AND PRODUCTIVITY OF AQUATIC COMMUNITIES. *Ecological Applications*, v. 15, n. 2, p. 618–627, 2005.
- SARIJO, S. H.; GHAZALI, S. A. I. S. M.; HUSSEIN, M. Z. Synthesis of dual herbicides-intercalated hydrotalcite-like nanohybrid compound with simultaneous controlled release property. *Journal of Porous Materials*, v. 22, n. 2, p. 473–480, 2015.
- SARIJO, S. H. *et al.* Intercalation, Physicochemical and Controlled Release Studies of Organic-inorganic -Herbicide (2, 4, 5 Trichlorophenoxy Butyric Acid) Nanohybrid into Hydrotalcite-like Compounds. *Materials Today: Proceedings*, v. 2, n. 1, p. 345–354, 2015.
- SHABANIAN, M.; HAJIBEYGI, M.; RAEISI, A. FTIR characterization of layered double hydroxides and modified layered double hydroxides. *Layered Double Hydroxide Polymer Nanocomposites*. p. 77–101, 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2,4-D in Drinking-water. Geneva. Disponível em: <<https://24d.info/wp-content/uploads/2020/08/2003-WHO-Drinking-Water.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2024.
- YASAEI, M. *et al.* Synthesis and characterization of ZnAl-NO<sub>3</sub>-(CO<sub>3</sub>) layered double hydroxide: A novel structure for intercalation and release of simvastatin. *Applied Surface Science*, v. 467–468, p. 782–791, 2019.
- ZHANG, L. *et al.* The impact of agricultural chemical inputs on environment: Global evidence from informetrics analysis and visualization. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 13, n. 4, p. 338–352, 2018.



# ANÁLISE DE ATERRAMENTOS PELO MÉTODO DA QUEDA DE POTENCIAL PARA ELABORAÇÃO DE LAUDOS TÉCNICOS



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430107>

*Data de aceite: 13/11/2024*

### **Marco Antonio Freire de Queiroz**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Anhanguera de Goiânia

### **Paulo Takao Okigami**

Me., Prof., Faculdade Anhanguera de Goiânia, Goiânia-GO

### **Jeann Cassio Baldoino Monteiro**

Me., Prof., Faculdade Anhanguera de Goiânia, Goiânia-GO

**RESUMO:** A análise de aterramentos elétricos e a elaboração de laudos técnicos são procedimentos fundamentais na Engenharia Elétrica, visando garantir a segurança e eficiência das instalações elétricas. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre este tema com foco no método da Queda de Potencial, abordando os aspectos teóricos e práticos, e utilização do terrômetro Megabras MTD-20KWe. A pesquisa foi realizada através de consultas em fontes variadas, incluindo artigos científicos, vídeos profissionais, livros, normas técnicas nacionais e internacionais, dando destaque para as normas ABNT NBR 15749/2009 – Medição de Resistência de

Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento. Concluiu-se, portanto, que este é um método eficaz, mas que deve se embasar em análises visuais cuidadosas e possui limitações a serem observadas, como no caso de áreas densamente populosas e sistemas de aterramento extensos, sendo necessário, para estas análises, outros métodos capazes de contornar as adversidades encontradas nestes meios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Medição de aterramentos, laudos de aterramento, métodos de medição.

## EARTH ANALYSIS USING THE POTENTIAL DROP METHOD FOR PREPARING REPORTS

**ABSTRACT:** The analysis of electrical grounding and the preparation of technical reports are fundamental procedures in Electrical Engineering, aiming to guarantee the safety and efficiency of electrical installations. This article presents a literature review on this topic focusing on the Potential Drop method, covering theoretical and practical aspects, and the use of the Megabras MTD-20KWe grounding resistance tester. The research was carried

out through consultations in a variety of sources, including scientific articles, professional videos, books, national and international technical standards, highlighting the standards ABNT NBR 15749/2009 – Measurement of Grounding Resistance and Potentials on the Soil Surface in Grounding Systems. It was concluded, therefore, that this is an effective method, but that it must be based on careful visual analyzes and has limitations to be observed, as in the case of densely populated areas and extensive grounding systems, making it necessary, for these analyses, other methods capable of overcoming the adversities found in these environments.

**KEYWORDS:** Measurement of grounding, grounding reports, measurement methods.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo compreender como se deve realizar uma avaliação de um aterramento existente, as normas, métodos e equipamentos envolvidos na análise e a descrição detalhada de como aplicar o método da queda de potencial.

O aterramento elétrico é um sistema de vital importância para que Sistemas de Energia Elétrica e Eletrônica funcionem adequadamente, sendo responsável por proporcionar um caminho para dissipação de correntes indesejadas, garantindo a proteção de equipamentos e pessoas. Visando a garantia da correta operação, desempenho ótimo do sistema de proteção e, talvez ainda mais importante, garantir os limites dos níveis de segurança pessoal, faz-se necessário uma atenção especial a este tópico.

Tal disciplina conta com diversas normas que respaldam sua importância, dentre elas a ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão, a ABNT NBR 7117-1 – Parâmetros do Solo para Projetos de Aterramentos Elétricos Parte 1: Medição da Resistividade e Modelagem Geoelétrica e a ABNT NBR 15749 – Medição de Resistência de Aterramento e de Potenciais na Superfície do Solo em Sistemas de Aterramento.

Sendo assim, pode-se elencar como objetivos do aterramento: obter a resistência de aterramento mais baixa possível, para correntes de falta a terra; manter os potenciais produzidos pelas correntes de falta dentro dos limites de segurança, de modo a não causar danos permanentes à saúde de quem esteja na área protegida; fazer com que equipamentos de proteção sejam mais facilmente sensibilizados e isolem rapidamente as falhas à terra; proporcionar um caminho de escoamento das descargas atmosféricas; usar a terra como retorno de corrente no sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT); escoar cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa realizada neste artigo consistiu em uma revisão bibliográfica, a qual permitiu uma abordagem qualitativa e descritiva sobre o tema Análise de Aterramentos pelo Método da Queda de Potencial e a elaboração de laudos.

Para a realização dessa revisão, foram consultadas diversas fontes de informação, incluindo livros, artigos científicos, dissertações e teses, selecionados por meio de buscas realizadas em bases de dados eletrônicas relevantes. As bases de dados utilizadas foram a IEEE Xplore, Scopus, Web of Science, manuais de fabricantes de terrômetros e normas da ABNT. O período de delimitação da pesquisa abrangeu os últimos 8 anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: Medição de aterramentos, laudos de aterramento, métodos de medição.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização de laudos de aterramentos, faz-se necessário utilizar equipamentos adequados como terrômetros e resistivímetros de acordo com a NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

De forma prática, os resistivímetros ainda são instrumentos considerados caros e negligenciados pelo mercado profissional de forma ampla, sendo usado mais por empresas especializadas em laudos e consultorias, que lidam cotidianamente com situações que envolvem análises mais complexas.

A medição da malha de aterramento como terrômetros consiste, basicamente, na injeção de uma corrente e um potencial no solo e a aferição da dispersão realizada na malha instalada, verificando assim sua resistência, possibilitando analisar o quão eficaz está sendo o escoamento à terra, conforme orienta a NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

Para a medição com terrômetro, adota-se como referência o Terrômetro da Megabras MDT – 20KWe, que é amplamente utilizado, tanto para medição de resistências de aterramentos, como para realização de sondagens elétricas verticais, antes conhecidas como estratificação do solo, de acordo com a NBR 7117-1 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020) e está conformidade com os requisitos da IEC 61557-5:2019 - *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000 V AC and 1500 V DC - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 5: Resistance to Earth*.

Para início da medição da resistência da malha de aterramento, utiliza-se os bornes H (EC) – vermelho, eletrodo de injeção de corrente, S (ET) – azul, eletrodo de tensão, ou sonda, e E (EXC) – verde, eletrodo de retorno de corrente, conforme a Figura 1.

As nomenclaturas E – ES – S – H são as recomendadas pela IEC 61557-5:2019 e as Exc – Ext – Et – Ec são as padronizadas pelo fabricante.

Para iniciar o procedimento, será adotada a realização de medições de resistência de tomada de terra (MODENA, 2024). Logo serão utilizadas 3 hastes para sua realização e o equipamento na configuração R (3 pole). Nesta função os bornes E e ES estão curto-circuitados internamente, sendo que o borne ES não é utilizado para este tipo de medição.

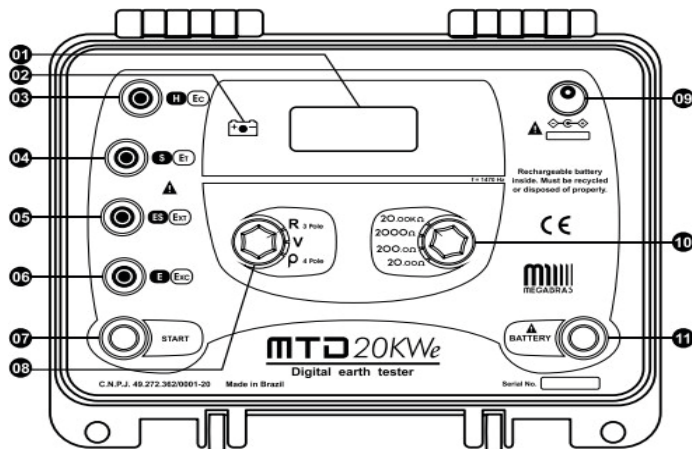


Figura 1. Terrômetro Megabras MTD 20KWe.

Fonte: Megabras (2008).

Primeiramente, o borne E – (ESC) do terrômetro deve ser conectado ao que se quer medir ou tomada de terra a medir (E1), na maioria dos casos a haste de terra existente, conectando por cabo disponível de 5m. Nesta etapa, deve-se atentar para desconexão de toda massa conectada na malha de aterramento. A Figura 2 mostra a conexão no ponto E1.

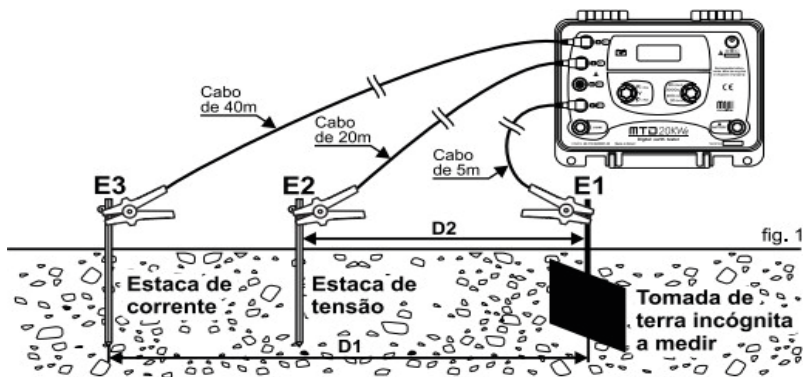


Figura 2. Medição de Resistência de Aterramento.

Fonte: Megabras (2008).

Posteriormente, deverão ser cravadas no terreno duas estacas auxiliares, E3 e E2, sendo uma o eletrodo auxiliar de corrente, E3, e a outra o eletrodo auxiliar de tensão, E2. A estaca correspondente ao eletrodo auxiliar de corrente deve ser conectada no borne H – (EC) do terrômetro e a uma distância D1 de, pelo menos, três vezes o valor do comprimento da haste. A estaca correspondente ao eletrodo auxiliar de tensão, E2, deve ser conectada no borne S – (ET) do terrômetro e a uma distância D2 de 62% da distância D1, conforme NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

Após esta configuração, pressiona-se a tecla Start, número 07 da Figura 1, e identifique o valor aferido no display, número 01 da Figura 1. Ressalta-se a atenção de que o limite de medição do equipamento é de 20 k $\Omega$ , o que reforça a necessidade de uma pré-análise cuidadosa antes de ir em campo realizar a medição do sistema, a fim de evitar retrabalho ou gastos desnecessários.

Nesta aplicação, a corrente gerada pelo terrômetro circula pela tomada de terra E1 e o eletrodo de corrente E3. Com isso, o equipamento mede a tensão entre o ponto de tomada de terra e o eletrodo de tensão, E2. O valor da resistência de aterramento, denominada R, então, é obtido de forma indireta, através do quociente da tensão e da corrente.

Existem duas zonas de influência que afetam os resultados (Duque, 2015). Caso a estaca de tensão esteja muito próxima do ponto de tomada de terra, tem-se a influência deste ponto de forma destrutiva no sinal obtido, conforme mostrado na Figura 3. Caso a estaca de tensão esteja muito próxima da estaca de corrente tem-se uma influência construtiva no sinal. Ambos os cenários resultam em dados mascarados da resistência de aterramento. Esta é a razão pela qual recomenda-se o afastamento em 62% de E2 em relação a E1 (Mendes, 2024).

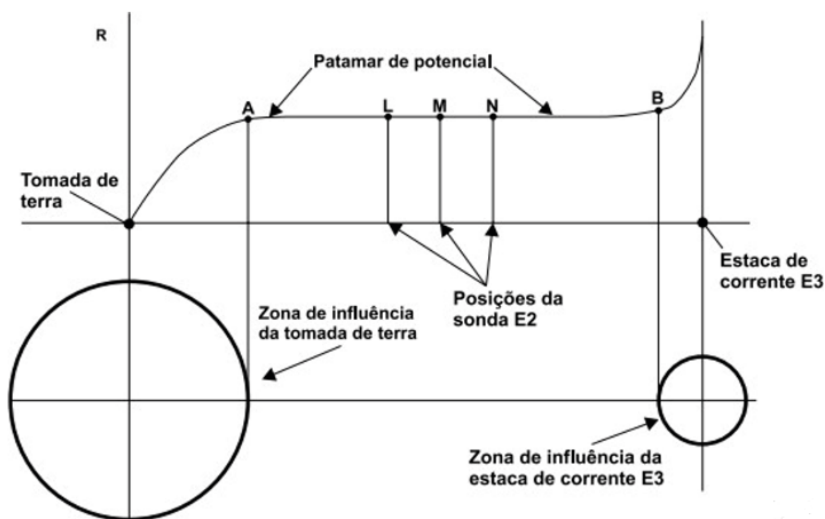


Figura 3. Sinal em relação a zonas de influências.

Fonte: Megabras (2008).

De modo a garantir uma referência exata da resistência de aterramento, faz-se necessário pelo menos outras duas medidas para o eletrodo ou estaca de tensão. Para tanto, traça-se uma direção linear entre a tomada de terra e a estaca de corrente, na qual a estaca de tensão foi previamente cravada a 62% de E1. Para as próximas duas medições, deve-se variar a estaca E2 em 5% da distância D1, E1 a E3, para a direita e posteriormente para a esquerda deste ponto inicial, que será chamado de  $S_{(inicial)}$  conforme orienta ABNT NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009, p.12).

Isso faz-se necessário para garantir que a medição está ocorrendo na Zona Patamar de Potencial, que é a que garantirá o da resistência de aterramento, ou seja, que não está sofrendo influências dos eletrodos de corrente e do ponto de conexão.

Sendo a primeira medida o  $S_{INICIAL}$ , a segunda o  $S_1$  e a terceira o  $S_3$ , a medição estará coerente se, e somente se, os valores encontrados respeitarem a eq. (1), de acordo com a NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

$$\frac{R_{S1}-R_{S2}}{R_{S(inicial)}} \leq 10\% \quad (1)$$

Caso esta equação não seja respeitada, ou seja, os valores encontrados divergem do resultado esperado na eq. (1), deve-se reposicionar as estacas de medição, pois os valores não coincidem com a realidade. Caso os valores encontrados atendam ao requisito da eq. (1), o valor da resistência de aterramento será dado pela média aritmética dos três valores, conforme eq. (2), de acordo com a NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

$$R_{aterramento} = \frac{R_{S(inicial)} + R_{S1} + R_{S2}}{3} \quad (2)$$

O método de medição de resistividade do solo, apresenta-se bastante satisfatório para realização das análises necessárias do dia a dia, visando garantir a segurança e a eficiência das instalações elétricas.

Tal método, para ser ainda mais eficiente na elaboração completa de um laudo, deve-se apoiar na inspeção visual do sistema, visando verificar os pontos de conexão à malha de aterramento, se não possuem pontos de oxidação/corrosão e a integridade física do mesmo, incluindo testes de continuidade, para garantir que os pontos em análise estão devidamente conectados ao aterramento e cumprindo seu papel de proteção e equipotencialização, conforme orienta NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

Embora seja um método simples e eficaz, possui algumas dificuldades em sua realização, que devem ser observadas atentamente pelos profissionais e, quando impossível sua aplicação, deve-se estudar outro método para aferição do aterramento.

Por conta da distância recomendada pela NBR 15749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) para a cravação da estaca ou eletrodo de corrente, 3 a 5 vezes a maior distância da malha, esta medição pode ser complicada, ou até mesmo impossível de se obter.

Em regiões densamente populosas, principalmente, encontra-se diversos sistemas no subterrâneo que podem interferir na medição realizada.

Em instalações onde as malhas de aterramento são extensas, da ordem de algumas centenas de metros ou até quilômetros, seria necessário estender os circuitos de corrente e potencial a grandes distâncias. Outro fator característico deste tipo de instalação é a significância da impedância em relação a resistência, sendo necessário analisar acoplamentos de circuitos e reatância dos mesmos (Mendes, 2024).

## CONCLUSÃO

A análise de aterramentos pelo Método da Queda de Potencial e a subsequente elaboração de laudos técnicos são processos fundamentais para garantir a segurança, eficiência e conformidade dos sistemas elétricos.

Ficou evidente que a aplicação adequada do Método da Queda de Potencial, observando-se a região de atuação da medição, permite identificar e diagnosticar potenciais problemas nos sistemas de aterramento, fornecendo dados precisos e confiáveis para orientar intervenções corretivas e preventivas.

Por fim, este artigo visa não apenas fornecer uma visão abrangente sobre a análise de aterramentos pelo Método da Queda de Potencial e a elaboração de laudos, mas também promover a conscientização sobre a importância desses processos na engenharia elétrica moderna. Através do conhecimento e da aplicação das melhores práticas, podemos garantir um ambiente elétrico mais seguro e confiável para todos.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15749: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7117-1: Parâmetros do solo para projetos de aterramentos elétricos Parte 1: Medição da resistividade e modelagem geoeletrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

International Electrotechnical Commission. IEC 61557-5: Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1000V AC and 1500V DC – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 5: Resistance to earth. IEEE, 2019.

Megabras MTD-20KWe Terrômetro digital - Manual de uso. São Paulo, 2008.

Modena, J.; Sueta, H. Aterramentos elétricos. Disponível em: <[https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed65\\_fasc\\_aterramentos\\_cap6.pdf](https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Ed65_fasc_aterramentos_cap6.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2024.

Duque, L. A-59 Medição da Resistência de Aterramento: Queda de Potencial. YouTube, 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=NxUD1o588sY>>. Acesso em: 31 mar. 2024.

Mendes, A. Métodos de medição de resistência de aterramento. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/fields/attachment\\_file/br\\_-\\_medicao\\_de\\_resistencia\\_de\\_aterramento\\_-\\_andre\\_mendes\\_0.pdf](https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/fields/attachment_file/br_-_medicao_de_resistencia_de_aterramento_-_andre_mendes_0.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2024.

# FATORES DETERMINANTES NO ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE ESTACAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430108>

*Data de aceite: 19/11/2024*

**Luanna Carmem Barros Souza**

**Hendrick da Costa de Souza**

<http://lattes.cnpq.br/9928895385474818>

**Irmfried Henrique Papke**

**Gabriel Pereira dos Santos**

**Diego Duarte da Silveira**

**Genison Antonio Pizzi**

**Rafael Antonio Pasini**

**RESUMO:** O enraizamento adventício de estacas é um dos principais métodos utilizados para a propagação vegetativa de espécies florestais, sendo fundamental tanto para a produção comercial de mudas quanto para a conservação de espécies nativas. Este processo, embora essencial, é altamente complexo e multifatorial, dependendo de uma série de interações entre fatores internos (hormonais e nutricionais) e externos (condições ambientais e práticas de manejo). A literatura científica sobre o tema revela que a capacidade de enraizamento das estacas pode variar significativamente entre as espécies, dependendo de suas

características biológicas e dos protocolos adotados. Esta revisão tem como objetivo proporcionar uma compreensão detalhada sobre os principais fatores que influenciam o enraizamento adventício em estacas de espécies florestais. São abordados aspectos como a fisiologia do enraizamento, o impacto da temperatura, luz, umidade e a qualidade do substrato, bem como a influência das características genéticas e morfológicas da planta-mãe.

**PALAVRAS-CHAVE:** enraizamento adventício, propagação vegetativa, hormônios vegetais, fatores ambientais, tecnologias de enraizamento, espécies florestais.

## INTRODUÇÃO

O cultivo de florestas comerciais é essencial para o fornecimento de madeira e de produtos florestais não madeireiros, atendendo a várias demandas da sociedade (SOUZA et al., 2023). No Brasil, a área aproximada de florestas plantadas é de 9,94 milhões de hectares, com maior concentração nas regiões Sul e Sudeste, sendo 76,0% dessa área composta por cultivos do gênero *Eucalyptus* (IBÁ, 2023).



A propagação vegetativa por meio de estacas é um método amplamente utilizado para a multiplicação de plantas, incluindo diversas espécies florestais de importância econômica e ecológica. Estacas são fragmentos de tecidos vegetais que, ao serem adequadamente tratadas, podem originar novos indivíduos, com as mesmas características genéticas da planta-mãe (HARTMANN et al., 2014). O sucesso desse processo depende de uma série de fatores que influenciam diretamente a capacidade de desenvolvimento radicial (ALFENAS et al., 2009). Esses fatores são classificados em internos, como os hormonais e metabólicos, e externos, como as condições ambientais e de cultivo (TREVISAN et al., 2023; XAVIER et al., 2013). Embora o enraizamento adventício seja um processo natural em muitas plantas, ele pode ser otimizado para espécies florestais através do manejo adequado e da compreensão dos fatores fisiológicos e ambientais.

Este trabalho visa oferecer uma visão abrangente e aprofundada dos fatores que determinam o sucesso do enraizamento adventício em estacas florestais, incorporando dados de pesquisas sobre a biologia do processo e os avanços tecnológicos empregados para melhorar a propagação clonal em várias espécies florestais.

## **FATORES FISIOLÓGICOS NO ENRAIZAMENTO**

### **Hormônios Vegetais**

Os hormônios vegetais, também conhecidos como fitormônios, são substâncias químicas que desempenham papel fundamental no controle de vários processos fisiológicos das plantas, incluindo o enraizamento adventício (TAIZ; ZEIGER, 2017). As auxinas, especialmente o ácido indolacético (AIA) e o ácido indolbutírico (AIB), têm sido amplamente estudadas e aplicadas para estimular o enraizamento. Estas auxinas são responsáveis por promover a divisão celular, alongamento e diferenciação dos tecidos radiculares nas estacas (BRONDANI et al., 2014). Quando aplicadas exogenamente, as auxinas podem aumentar a taxa de enraizamento de espécies que, naturalmente, apresentam dificuldades nesse processo, como ocorre com algumas espécies de coníferas e árvores de folha perene (HARTMANN et al., 2014).

Além das auxinas, outras classes de fitormônios, como as citocininas e as giberelinas, também influenciam o enraizamento, mas de forma mais complexa. As citocininas, por exemplo, têm o potencial de inibir a formação de raízes em concentrações altas, mas podem auxiliar na formação de brotos e folhas, o que contribui para o aumento da fotossíntese e, conseqüentemente, para a maior disponibilidade de carboidratos, essenciais para o enraizamento (RASMUSSEN et al., 2015). Já as giberelinas tendem a ser mais associadas ao crescimento de caules e folhas, podendo ter impacto negativo no enraizamento (ASSIS; TEIXEIRA, 1998).

## Carboidratos e Metabolismo Energético

O enraizamento adventício é um processo que exige grande quantidade de energia, e os carboidratos são a principal fonte dessa energia. As estacas, para serem bem-sucedidas no enraizamento, precisam ter reservas suficientes de carboidratos, principalmente amido e sacarose, que são metabolizados para fornecer a energia necessária à formação de raízes (DRUEGE et al., 2000). Durante o processo de enraizamento, as estacas convertem esses carboidratos em ácidos graxos, aminoácidos e outros compostos necessários para o crescimento das raízes. O acúmulo e a disponibilidade de carboidratos são, portanto, essenciais, e a deficiência de nutrientes pode reduzir o sucesso do enraizamento (HAISSIG, 1982).

Além disso, o suprimento adequado de macronutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, e micronutrientes, como zinco, cobre e manganês, também desempenha um papel importante (PEREIRA; PERES, 2016). O cálcio, em particular, é fundamental para a estabilidade estrutural das células e das paredes celulares das raízes (BELLAMINE et al., 1998). A interação entre o suprimento de nutrientes e o metabolismo de carboidratos é uma chave para o enraizamento bem-sucedido, e é fundamental para o desenvolvimento das raízes adventícias.

## FATORES AMBIENTAIS NO ENRAIZAMENTO

### Temperatura

A temperatura é uma das variáveis ambientais mais importantes que afeta o enraizamento de estacas florestais. Em geral, temperaturas entre 20°C e 30°C são consideradas ideais para a maioria das espécies florestais, uma vez que favorecem a atividade enzimática e o transporte de nutrientes para as estacas (WILSON, 1998). Temperaturas mais altas podem acelerar o metabolismo das células, mas também aumentam o risco de desidratação, o que prejudica o enraizamento. Em contrapartida, temperaturas abaixo de 15°C podem inibir a atividade celular e retardar ou até impedir o desenvolvimento das raízes (FACHINELLO et al., 2005).

A variação de temperatura ao longo do dia e a influência das estações também desempenham um papel importante. Por exemplo, estacas de espécies tropicais, como o eucalipto, podem ter um comportamento diferente em comparação com estacas de espécies temperadas, como o pinus. Algumas espécies exigem variações térmicas para estimular o enraizamento, enquanto outras podem ser mais sensíveis a flutuações rápidas de temperatura (HARTMANN et al., 2014).

## **Luz e Fotoperíodo**

A luz tem um impacto significativo no enraizamento devido à sua influência na fotossíntese e na produção de fitormônios, especialmente as auxinas. A intensidade e a qualidade da luz podem afetar diretamente o crescimento das estacas e o desenvolvimento das raízes (BASKIN; BASKIN, 2014). Além disso, a duração da exposição à luz, ou o fotoperíodo, também é importante. Estacas expostas a fotoperíodos longos geralmente têm um maior suprimento de carboidratos devido ao aumento da fotossíntese, o que pode resultar em um enraizamento mais eficaz (HARTMANN et al., 2014).

## **Umidade e Aeração do Substrato**

A umidade é essencial para o enraizamento, pois as estacas necessitam de água para evitar o dessecamento e para facilitar a absorção de nutrientes (WENDLING; DUTRA, 2010). No entanto, o excesso de umidade pode levar à falta de oxigênio no substrato, promovendo condições anaeróbicas que prejudicam o desenvolvimento das raízes (ALFENAS et al., 2009). O controle adequado da umidade, juntamente com uma boa aeração do substrato, é, portanto, essencial para evitar a asfixia das estacas e promover o desenvolvimento de raízes vigorosas (XAVIER et al., 2013).

## **FATORES INTRÍNSECOS DA ESTACA**

### **Idade e Estado Fisiológico da Planta-Mãe**

A idade da planta-mãe desempenha um papel crítico no sucesso do enraizamento das estacas. Estacas retiradas de plantas jovens, especialmente aquelas em fase vegetativa, geralmente apresentam maior capacidade de enraizar devido à maior concentração de auxinas e menor lignificação dos tecidos (WENDLING; XAVIER, 2001). Por outro lado, estacas retiradas de plantas maduras ou de fases reprodutivas podem ter taxas de enraizamento mais baixas devido ao aumento da lignificação e à diminuição da produção de hormônios de enraizamento (FACHINELLO et al., 2005).

### **Posição da Estaca e Diâmetro**

A posição da estaca na planta-mãe também é um fator importante. Estacas retiradas de ramos basais ou de brotações recentes geralmente têm maior capacidade de enraizar, devido a uma maior quantidade de hormônios vegetais e menor grau de lignificação (WENDLING; XAVIER, 2001). O diâmetro da estaca também pode afetar o enraizamento, com estacas mais finas geralmente apresentando maior facilidade para desenvolver raízes devido à menor resistência ao fluxo de água e nutrientes (RASMUSSEN et al., 2015).

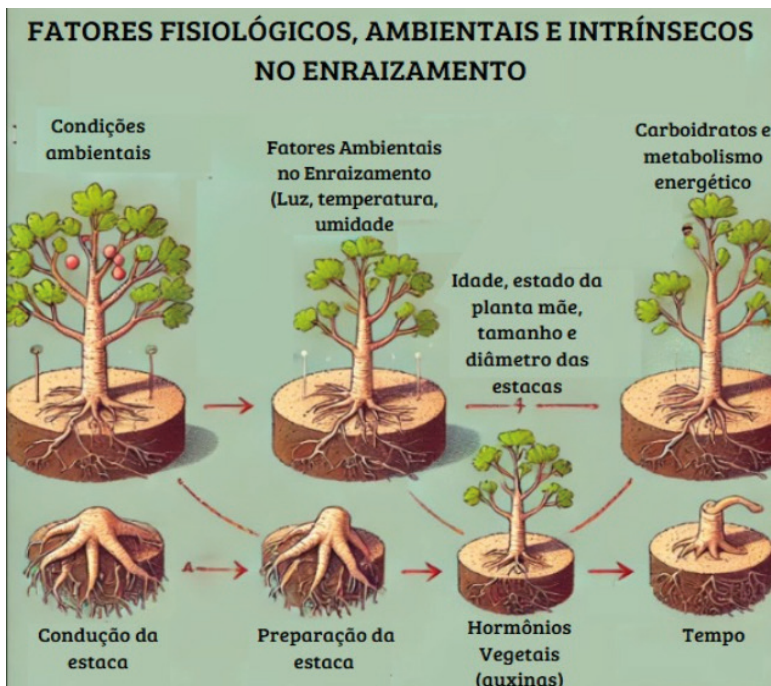


Figura 1: Representação ilustrativa dos fatores determinantes do enraizamento

Fonte: Autores/IA/2024.

## CONCLUSÃO

O enraizamento adventício é um processo complexo e multifatorial, que depende de uma interação entre características fisiológicas da planta-mãe, fatores hormonais, condições ambientais e práticas de manejo. O sucesso da propagação vegetativa em estacas florestais pode ser significativamente aumentado com o controle adequado de fatores como temperatura, umidade, luz, nutrição e aplicação de hormônios. À medida que a pesquisa avança, novas tecnologias e protocolos adaptativos têm sido desenvolvidos, oferecendo soluções para aumentar as taxas de enraizamento em espécies florestais de difícil propagação. A compreensão profunda desses fatores e suas interações é fundamental para otimizar a propagação clonal e garantir o sucesso de projetos de reflorestamento comerciais e de conservação de espécies nativas.

## REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 500.
- ASSIS, T. F.; TEIXEIRA, S. L. Enraizamento de plantas lenhosas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Eds.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CNPq, 1998.

- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2014.
- BELLAMINE, J. et al. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. **Plant Growth Regulation**, v. 26, p. 191-194, 1998.
- BRONDANI, G. E. et al. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii*: efeito do genótipo, AIB, zinco, boro e coletas de brotações. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 147-156, 2014.
- DRUEGE, U. et al. Relation between nitrogen status, carbohydrate distribution and subsequent rooting of chrysanthemum cuttings as affected by pre-harvest nitrogen supply and cold-storage. **Annals of Botany**, v. 85, n. 5, p. 687-701, 2000.
- FACHINELLO, J. C. et al. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: 1, 2005. p. 221.
- HAISSIG, B. E. Carbohydrate and amino acid concentration during adventitious root primordium development in *Pinus banksiana* Lamb. cutting. **Forestry Science**, v. 28, p. 815-821, 1982.
- HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation: principles and practices**. 9. ed. Pearson Education Limited, 2014. p. 927.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório anual 2023. São Paulo: IBÁ, 2023. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em: 12 out. 2024.
- PEREIRA, F. B.; PERES, F. S. B. Nutrição e enraizamento adventício de plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 319-326, 2016.
- RASMUSSEN, A. et al. Adventitious rooting declines with the vegetative to reproductive transition and involves a changed auxin homeostasis. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 5, p. 1437-1452, 2015.
- SOUZA, H. C. et al. Resgate vegetativo de árvores de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage. **Série Técnica IPEF**, v. 26, n. 48, p. 1-12, mai. 2023. DOI: 10.18671/sertec.v26n48.015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TREVISAN, P. L. et al. **Efeito da pulverização foliar de AIB e bioestimulante na propagação vegetativa de híbrido de *Corymbia***. In: SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (SEPE 2023), 2023, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Franciscana, 2023. DOI: 10.48195/sepe2023.27477.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 184.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Gradiente de maturação e rejuvenescimento aplicado em espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 187-194, 2001.
- WILSON, P. J. Environmental preferences of *Eucalyptus globulus* stem cuttings in one nursery. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 28, n. 3, p. 304-315, 1998.
- XAVIER, A. et al. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 272 p.

# DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS POR CORRELAÇÕES EM DEPÓSITOS DE BAUXITA



<https://doi.org/10.22533/at.ed.909122430109>

*Data de aceite: 29/11/2024*

**Leonardo Martins Agripino**

Estudante, Faculdade Arnaldo, Juruti-PA,  
Brasil

**Marcio Fernandes Leão**

Geólogo-Geotécnico, Tractebel/UFV, Belo  
Horizonte-MG, Brasil

**RESUMO:** A determinação de parâmetros de resistência dos materiais, de forma consolidada, pode ser adquirida com investigação de campo e análise de laboratório. Em projetos de mineração a necessidade de resposta é praticamente imediata, principalmente em regiões tropicais onde solos dessa natureza são marcantes. Desta forma, o artigo buscou caracterizar os materiais geológicos-geotécnicos que compõem os platôs comuns na região amazônica, que sobrepõem os depósitos e reservas de minas de bauxita, trazendo uma compreensão inicial (conceito) de como essas camadas podem ser abordadas nas atividades minerárias. Assim, buscou-se trazer por meio de correlações os parâmetros geotécnicos desses materiais, validados em campo por meio da experiência dos autores em projetos dessa natureza. A metodologia foi baseada na compreensão de um perfil

estratigráfico típico da região de Juruti (PA) onde foram executadas investigações geológico-geotécnicas e adoção de correlações para solos tropicais de um perfil de 18 m, composto inicialmente por camada de solo orgânico, seguido por uma camada de solo argiloso, com profundidade variada; essa sobreposta ao depósito de bauxita. Além disso, a partir de ensaios de campo os materiais dos platôs foram parametrizados para diversos usos como: exploração e desenvolvimento de mina de bauxita na região amazônica em geral, apresentando coesão e ângulo de 30 kPa e 33°. Conclui-se que essa parametrização poderá tornar as operações mais viáveis, por meio da definição da compreensão do comportamento geotécnico desses materiais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bauxita; Amazônia; Geologia.

## DETERMINATION OF GEOLOGICAL-GEOTECHNICAL PARAMETERS BY CORRELATIONS IN BAUXITE DEPOSITS

**ABSTRACT:** The determination of resistance parameters of materials, in a consolidated manner, can be acquired through field investigation and laboratory analysis. In mining projects, the need for a response is practically immediate, especially in tropical regions where soils of this nature are notable. In this way, the article sought to characterize the geological-geotechnical materials that make up the common plateaus in the Amazon region, which overlap the deposits and reserves of bauxite mines, bringing an initial understanding (concept) of how these layers can be approached in mining activities. Thus, we sought to bring the geotechnical parameters of these materials through correlations, validated in the field through the authors' experience in projects of this nature. The methodology was based on the understanding of this stratigraphic profile typical of the Juruti region (PA) where geological-geotechnical investigations were carried out and correlations were adopted for tropical soils of an 18 m profile, initially composed of an organic soil layer, followed by a layer of clayey soil, with varying depths; this overlaps the bauxite deposit. Furthermore, based on field tests, the plater materials were parameterized for various uses such as: exploitation and development of bauxite mines in the Amazon region in general, presenting cohesion and an angle of 30 kPa and 33°. It is concluded that this parameterization can make operations more viable, by defining the understanding of the geotechnical behavior of these materials.

**KEYWORDS:** Bauxite; Amazon; Geology.

### INTRODUÇÃO

Aspectos relacionados a investigação e sondagem acompanham a vida útil do empreendimento. Na mineração, os resultados desses trabalhos suportam projetos correntes e futuros, buscando sempre a segurança das pessoas, meio ambiente e operações. Arelados a isso, os exercícios dos trabalhos de campo e ensaios de laboratórios são amplamente utilizados na obtenção de dados confiáveis e rastreáveis, sendo a engenharia geotécnica a disciplina guardiã de tais procedimentos e execução, em harmonia com padrões e normas vigentes.

Na região norte do país, alvo desse trabalho, a formação geológica se apresenta sob forma de platôs. Com a decomposição de silicatos e argilominerais, ocorre a remoção de grande parte da sílica, enquanto os óxidos de alumínio e ferro são concentrados. A formação é uma rocha rica em óxido de alumínio, de composição mineralógica variável de três minerais: gibbsita, diásporo e boehmita (oxi-hidróxidos de alumínio), com ocorrência subsidiária de óxidos de ferro, argila, sílica, dióxido de titânio, entre outras (AQUINO, 2007; SOUZA, 2008). A bauxita lavrada economicamente possui alumina ( $Al_2O_3$ ) com teores variando entre 50 e 55%.

A necessidade de estudar o comportamento desses materiais constituintes, sobre olhares da geotecnia, é de extrema importância e de grande relevância para operações cada vez mais seguras, dada a posição dessa commodities no cenário nacional e sua ocupação no ranking mundial. A determinação da melhor metodologia e melhor empregabilidade dos recursos necessários para aquisição de dados pode variar conforme vão se desenhando os perfis geológicos/geotécnicos, que para este trabalho, seguiremos com ensaios de campo.

O Brasil é grande produtor de alumínio, ocupa a 15ª posição no ranking mundial, seguindo as principais empresas em solo brasileiro: Mineração Rio do Norte S.A.(MRN), maior produtora de bauxita no Brasil, seguida pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) e a Hydro Mineração Paragominas (MPSA), cada uma com participações semelhantes no mercado nacional. Outras empresas produtoras são a Alcoa Alumínio S.A. e a Novelis do Brasil Ltda.

SIMONI (2029) escreve segundo MÁRTIRES, 2001, e SANTAN (2014), que maior parte das reservas de bauxita estão localizadas em regiões tropicais e subtropicais do mundo. As reservas mundiais de bauxita conhecidas são de aproximadamente 25.6 bilhões de toneladas (dados de 2013). Os maiores produtores são a Guiné e a Austrália, com aproximadamente 7 e 6 bilhões de toneladas, respectivamente.

O método de lavra corresponde à sistematização e coordenação dos serviços de exploração de uma jazida, ou seja, é a técnica de extração do material, e sua escolha é determinante durante o estudo de viabilidade econômica de um projeto de mineração. O principal objetivo de um método de lavra é a utilização completa, segura e econômica das substâncias minerais com o mínimo de impactos ambientais (LOBATO, 2012).

Manter as cavas estáveis, os acessos seguros e as operações em pleno regime de trabalho requer habilidades e conhecimentos geotécnicos. Independente da profundidade das cavas, no caso desse trabalho são cavas rasas, os parâmetros de resistências dos materiais e geometria dos taludes devem ser estabelecidos numa condição de satisfatória ao avanço da lavra.

O sistema de lavra em tiras consiste em remover o estéril de uma faixa ou bloco a ser lavrado para uma faixa ou bloco que já foi lavrado, tendo assim uma diminuição da distância de transporte do estéril e facilitação da exposição do minério, bem como agilidade nos processos de recuperação ambiental (PIMENTEL, 2009).

A área de estudo está localizada na região amazônica, no conhecido cinturão da bauxita, que compreende a região equatorial do planeta Terra. A região é parte de um sistema integrado de produção de bauxita, que inclui atividades de mineração, beneficiamento e transporte do produto até destinatário final. Comumente, o método de lavra utilizado nas minas de bauxita na Amazônia é o método de lavra em tiras, o mais indicado para estes tipos de depósitos. O processo para extração da bauxita compreende operações unitárias cíclicas, realizadas em faixas sequenciais: supressão vegetal, decapeamento, lavra e recuperação ambiental. Por permitir nivelamento e reabilitação da área logo após a lavra do minério, o método de lavra em tiras apresenta menor impacto ambiental e visual. A Figura 1 ilustra as operações no processo de lavra da bauxita e que são resumidas na sequência:





Figura 1 - Fluxo do processo de lavra da bauxita.

- **Supressão vegetal:** a supressão vegetal é a etapa de retirada da vegetação localizada na área de avanço da lavra;
- **Decapeamento:** etapa de remoção do estéril para expor a camada de bauxita. Na lavra em tiras o capeamento não é transportado para um bota-fora ou pilhas de estéril, mas depositado dentro dos cortes formados nas etapas anteriores da lavra. O método de decapeamento a ser utilizado varia conforme a espessura do estéril na tira. A depender do método, o decapeamento pode ser feito com trator de esteiras ou com escavadeira de grande porte e caminhão fora-de-estrada;
- **Lavra:** etapa de extração minério, propriamente dito. A lavra pode ser feita pelo método contínuo em que o equipamento realiza a etapa de desmonte e carregamento simultaneamente, ou através do método tradicional, em que o desmonte é feito com trator e o carregamento com pá carregadeira e/ou escavadeira. O transporte do minério para o britador é feito através de caminhões rodoviários;
- **Beneficiamento:** a etapa de beneficiamento visa adequar a bauxita nas especificações granulométricas, podendo ser por um moinho, britador, peneira e ciclone;
- **Reabilitação de áreas mineradas:** na reabilitação, o relevo original é reproduzido, o solo rico em matéria orgânica é adicionado e o terreno é preparado para receber as mudas que restabelecerão a cobertura vegetal. A meta da empresa é recuperar na proporção de 1:1, ou seja, a cada 1 hectare disponibilizado no ano (área lavrada, menos a área utilizada para infraestrutura) será recuperado 1 hectare em até dois anos;

A elaboração de projetos de escavação e estabilidade dos taludes abertos apresenta elevado dinamismo e muitas das vezes a execução de ensaios de laboratório para determinação de parâmetros é tardia à necessidade operacional. Desta forma, o artigo buscou caracterizar os materiais geológicos-geotécnicos que compõem os platôres comuns na região amazônica, que sobrepõem os depósitos e reservas de minas de bauxita, trazendo uma compreensão inicial (conceito) de como essas camadas podem ser abordadas nas atividades minerárias, utilizando uma região em Juruti como estudo de caso.

## METODOLOGIA

A metodologia foi baseada na compilação de resultados de NSPT para uma área de extração de bauxita na região norte do Brasil. Nessa região acontece a extração de bauxita em platôes conforme visto e dito na introdução. Esses resultados foram corrigidos considerando eficiência de 60% da energia ( $N_{SPT60}$ ). Inicialmente foi realizada uma caracterização do perfil estratigráfico, com base em informações de furos de sondagem de longo prazo. Os furos de exploração mineral são ordenados em malhas e dentre outros objetivos, visam determinar modelo geológico do corpo mineralizado.

O produto de ensaios, investigações e modelo geológico possibilitam uso e aplicação de correlações para a determinação de parâmetros geotécnicos. Ao final, foram realizados 09 furos, com ensaio de SPT metro a metro, e 4 coletas de amostras indeformadas (blocos). A não execução de ensaios específicos para a determinação dos parâmetros de resistência de materiais não impede a aplicação de outros métodos determinísticos para obtenção destes. A definição desses parâmetros pode ser realizada através de correlações divulgadas na literatura, em conjunto com as características geológicas dos materiais. Considerando as etapas (Figura 1) foram selecionadas correlações para a obtenção dos parâmetros geotécnicos. O perfil de interesse varia sua espessura e profundidade ao longo da região amazônica podendo, em alguns casos, atingir 18 m, a composição dessas camadas não variam, sendo camada inicial composta de solo orgânico, seguido por uma camada de solo argiloso, essa sobreposta ao depósito de bauxita.

A resistência ao cisalhamento das argilas, acima da tensão de pré-adensamento é caracterizada pelo ângulo de atrito interno efetivo. O seu valor é variável conforme o teor de argila, de modo que ele é menor quando o solo é mais argiloso. Godoy (1983) apresenta (Equação 1) a correlação para a definição do ângulo de atrito:

$$\phi = 28^\circ + 0,4 \times N_{SPT} \quad (1)$$

Na situação drenada para solos estruturados lateríticos Berberian (2015) propôs a seguinte correlação (Equação 2) para estimativa da coesão:

$$c' = N_{SPT} / 0,35 \text{ (kPa)} \quad (2)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os depósitos de bauxita de Paragominas estão localizados na parte NE do estado do Pará. A região de Paragominas é marcada por tabuleiros e platôs dissecados e isolados, com cobertura de argilas amarelas (Argila Belterra) e crostas ferro-aluminosas sobrepostas aos sedimentos das Formações Ipixuna ao norte e Itapecuru, ao sul. Em geral a altitude desses platôs não excede 200 m, apenas na parte sul em direção à cidade de Imperatriz podem chegar a 400 m. (KOTSCHOUBEY, et al. 2016). De modo geral as bauxitas de Paragominas estão ligadas ao horizonte laterítico ferro-aluminoso de idade Terciária inferior (Paleógeno) que é sotoposta a essas argilas creme amareladas, designadas Argila de Belterra e ao saprolito, formado de argilas caulínicas variegadas ou manchadas. A Figura 2 mostra o perfil típico da região de Paragominas identificado.

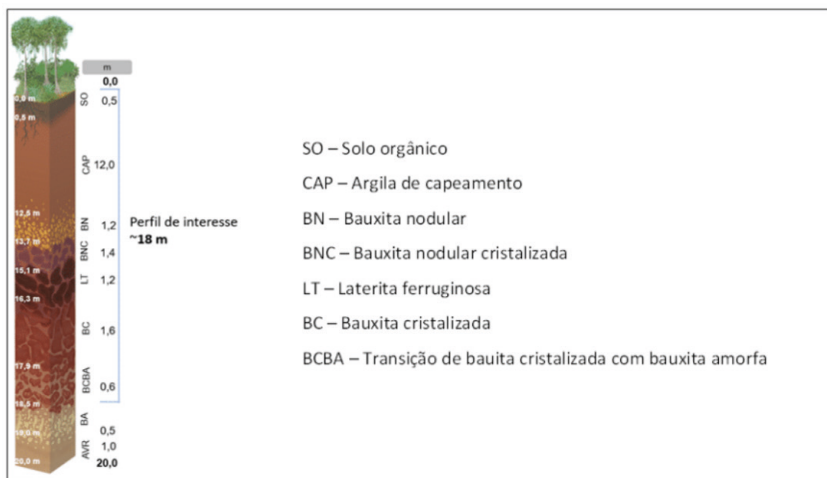


Figura 2. Perfil típico da região da cava da Mineração Paragominas

Considerando as sondagens existentes e as informações geológicas (local e regional), a fundação natural representada pela argila apresenta características marcantes. A argila apresenta principalmente textura argilo-siltosa, por vezes arenosa, podendo ocorrer fragmentos e concreções lateríticas, variando a silte argiloso. A cor é variável apresentando manchas irregulares, cores diversas (amarela, vermelha, róseo, marrom, branco etc.). A camada de argila é espessa, com espessura variada, em alguns casos com mais de 15,0 m. A Figura 3 apresenta o número de golpes dos ensaios SPT nesse material em função da tensão vertical efetiva. Observa-se que a argila apresenta  $N_{SPT}$  superior a 10 golpes com média de 36 golpes, com consistência classificada como rija a dura. Eventualmente podem ocorrer trechos de menor resistência, principalmente na interface dos materiais.

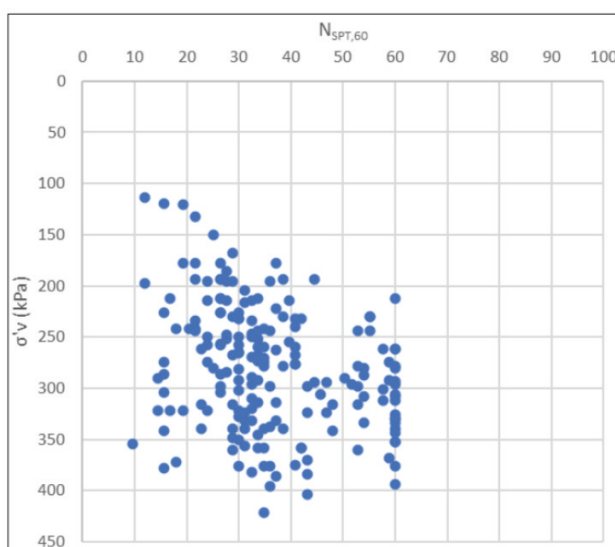


Figura 3. Relação entre a tensão vertical efetiva ( $\sigma'_v$ ) e valores do  $N_{SPT60}$ .

Os parâmetros de resistência definidos para a argila estão apresentados na Tabela 1, os quais foram obtidos com base na literatura e em ensaios de campo realizados. Dada a variabilidade dos resultados de  $N_{SPT}$  na argila, pode considerar, de forma conservadora, o  $N_{SPT}$  de 11 golpes nas equações 1 e 2. Assim, estima-se o ângulo de atrito e a coesão efetiva da argila iguais a 33° e 30 kPa, respectivamente, estando bastante coerentes com solos tropicais típicos da região com certo nível de laterização. Destaca-se que amostras locais podem alcançar até 60 kPa de coesão, fruto do elevado nível de laterização das amostras. Desta forma, a nível conceitual aqui mostra-se válida.

Material	$c'$ (kPa)	$\phi$ (°)
Argila	30	33

Tabela 1. Parâmetros geotécnicos de resistência do material

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a investigação de campo, composta por 09 furos e 4 coletas de amostras indeformadas, aliada a uma boa revisão bibliográfica, associado com a descrição em campo, juntamente com revisitação dos furos de exploração mineral do platô, sob os auspícios de avaliação tátil-visual, trazem alinhamentos fundamentais para a determinação de parâmetros de resistência desses materiais investigados. Parâmetros estes que posteriormente são dispostos em plantas e seções geológicas geotécnicas para início de uma série de modelagens que refinam esses dados de entrada. Entende-se que a estimativa dos parâmetros por meio do NSPT, pode subsidiar os projetos a nível conceitual dessa natureza, permitindo o desenvolvimento de correlações mais refinadas mediante a validação de ensaios em campanhas de amostragem complementares realizadas na localidade.

### REFERÊNCIAS

Aquino, T.F. (2007) *Beneficiamento Químico da Bauxita de Santa Catarina*. Florianópolis: UFSC, 2007. 103p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Berberian, D (2015). *Engenharia de Fundações*. 2º. ed. Brasília: INFRASOLOS.

Costa, M.L (1991) *Aspectos Geológicos dos Lateritos da Amazônia*. *Revista Brasileira de Geociências*. 21(2): 146-160, junho de 1991.

Godoy, N. S. (1983). Estimativa da capacidade de carga de estacas a partir de resultados de penetrômetro estático. Palestra. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

Kotschoubey B., Truckenbrodt W. & Hieronymus B. (2016) *Bauxite deposits of Paragominas*. In: A. Carvalho, B. Boulangé, A.J. Melfi & Y. Lucas (eds.) *Brazilian Bauxites*. USP/FAPESP/ORSTOM, São Paulo, p. 75-106. Congedo, L. *Semi-automatic classification plugin documentation*. Release, v. 4, n. 0.1, p. 29.

Lobato, R. S. (2012) *Análise de produtividade na operação de decapeamento de estéril da mina de bauxita de Juruti – PA*. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, 36 p.

Mártires, Raimundo Augusto Corrêa (2001). *Balanço Mineral Brasileiro*. DNPM, 50p.

Pimentel, E. N. (2009) *Aspectos gerais da mina de bauxita de Paragominas. Estudo comparativo e elaboração de modelos ótimos de logística operacional – troca de turnos*. Marabá – PA. UFPA- Universidade Federal do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente, 51 p.

Santana, Andre Luiz (2014). *Sumário Mineral 2014: Departamento Nacional de Produção Mineral*. Ministério das Minas e Energia. Brasília, p. 28.

Simoni, Marcus Vinicius Barros de (2014). *Planejamento de longo prazo em mina de bauxita [manuscrito]: trade off entre a ordem da operação em platôs de bauxita*. 18 p.

Souza, W.B. (2008) - *Estudo da Adição de Lama de Bauxita em Polímero de Poli (Metacrilato de Metila) por meio de Polimerização em Massa e Moldagem em Casting*, Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, autarquia vinculada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 106 p.

# LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA - ARP E SUAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS



<https://doi.org/10.22533/at.ed.9091224301010>

*Data de aceite: 05/12/2024*

**Leonardo Franklin de Carvalho**

Geógrafo especialista em  
Geoprocessamento,  
Topografia e Sensoriamento Remoto  
<https://orcid.org/0009-0006-7995-9899>

**RESUMO:** O levantamento aerofotogramétrico por Aeronave Remotamente Pilotada - ARP vem contribuindo de maneira significativa para os levantamentos topográficos na atualidade. Entender as etapas que levam a um levantamento de qualidade é de grande valia para os profissionais que pretendem se especializar neste campo do conhecimento. Com a crescente demanda por este trabalho, a busca de qualidade em um levantamento aerofotogramétrico confiável tem sido um desafio em diversos estudos e experimentos sobre o assunto. Correlacionar os métodos tradicionais com as novas tecnologias faz parte de uma mudança estrutural que vem ocorrendo na forma de se produzir os dados topográficos. A revisão bibliográfica sobre o assunto permitiu uma análise e discussão sobre as metodologias utilizadas nos estudos acadêmicos, em especial, aquelas obtidas por levantamentos aéreos que buscam

a representação matemática do terreno através da fotogrametria, bem como a discussão sobre aquela mais indicada para determinado projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Topografia. Aeronave Remotamente Pilotada - ARP. Levantamento Aerofotogramétrico. Precisão Topográfica.

## TOPOGRAPHIC SURVEY WITH REMOTELY PILOTED AIRCRAFT - ARP AND ITS METHODOLOGICAL APPROACHES

**ABSTRACT:** Aerial photogrammetric surveying by Remotely Piloted Aircraft - RPA has been contributing significantly to current topographic surveys. Understanding the steps that lead to a quality survey is of great value for professionals who intend to specialize in this field of knowledge. With the growing demand for this work, the search for quality in a reliable aerial photogrammetric survey has been a challenge in several studies and experiments on the subject. Correlating traditional methods with new technologies is part of a structural change that has been occurring in the way topographic data is produced. The bibliographical review on the subject allowed for an analysis and discussion of the methodologies used in

academic studies, in particular those obtained by aerial surveys that seek the mathematical representation of the terrain through photogrammetry, as well as the discussion about the one most suitable for a given project.

**KEYWORDS:** Topography. Remotely Piloted Aircraft - RPA. Aerial photogrammetric survey. Topographic Accuracy.

## INTRODUÇÃO

A Topografia enquanto ciência é uma área do conhecimento que estuda a representação gráfica da superfície terrestre, usando para isso, métodos e instrumentos que permitem a representação de determinado terreno em uma superfície plana. Esta representação busca as dimensões desta superfície através de ângulos e distâncias, áreas e volumes, necessárias na concepção de qualquer projeto de construção civil, bem como nas análises espaciais ou ambientais de determinado território. O levantamento matemático da superfície proporciona a visualização altimétrica das características do relevo, seus talwegues, vertentes e interflúvios, evidenciando as superfícies íngremes e planas, bem como a disposição planimétrica de ocupações urbanas como edificações e arruamentos ou a disposição de elementos geográficos naturais como rios, lagos e fragmentos florestais.

A topografia tradicional dispõe de métodos de poligonação, inserção a vante, irradiação e instrumentos como a Estação Total (VEIGA, 2007). Tal ferramenta possibilita a leitura de distâncias e ângulos a partir do deslocamento de feixe de luz sobre um prisma que o reflete de volta ao equipamento. Segundo Jeronymo e Pereira (2015) a estação total possui um método eficaz para áreas de pequeno e médio porte, obtendo precisões milimétricas, porém, dependendo do número de visadas e obstáculos a serem levantados, este equipamento passa a ser de difícil utilização.

A inovação tecnológica vem contribuindo com o nível de detalhamento cada vez maior e tempo de execução cada vez menor nas atividades de topografia. O levantamento aerofotogramétrico por Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPAs, da sigla em inglês: *Remotely Piloted Aircraft*, popularmente conhecidas como *Drones*, vem se destacando nestas inovações. O início da fotogrametria é relativamente antigo, datado do século XIX, e é definida como a arte e a ciência de realizar medições precisas por meio de fotografias aéreas. Este método busca a extração de informações quantitativas de fotografias aéreas usando a estereoscopia (sobreposição das imagens entre si) e medições de deslocamento aparente de objetos de acordo com a mudança do ponto de observação: paralaxe estereoscópica (JENSEN, 2011).

Os ganhos com os levantamentos aerofotogramétricos por RPA foram muitos, destacando-se a logística, os custos baixos com menor tempo de execução em relação aos levantamentos tradicionais, como é o caso da estação total, a resolução espacial das imagens obtidas podem chegar a centímetros e a resolução temporal altíssima, devido à versatilidade de vôos em curto espaço de tempo.

Com o aumento na demanda de uso dos RPAs na geração de dados cartográficos digitais, surge também a necessidade de avaliação da qualidade destes levantamentos, levando-se em consideração a precisão e acurácia. Neste sentido, este estudo discorre sobre o melhor momento em que esta técnica é mais indicada e qual a melhor forma de se utilizá-la, evidenciando os pontos positivos e negativos de seu levantamento.

## DESENVOLVIMENTO

No levantamento aerofotogramétrico é preciso estabelecer algumas etapas cruciais que interferem na qualidade do produto gerado. E estas etapas são largamente discutidas nas literaturas que abordam este tema. A primeira delas é a coleta de pontos de apoio em campo via GNSS-RTK. A maior parte dos RPAs possuem um GPS embarcado com precisão entre 5 e 10 metros, o que não é satisfatório para a maioria dos projetos, no entanto, com a coleta via GPS-RTK a precisão pode chegar a 1 cm (OLIVEIRA, 2020). Embora o levantamento das fotografias seja feito pela aeronave, é preciso estabelecer os pontos de controle e pontos de checagem, ambos levantados e materializados em campo. Estes pontos devem ser visualizados nas fotografias captadas pela aeronave. Os pontos de controle servem para georreferenciar as imagens, já os pontos de verificação servem para calcular a exatidão entre o ponto na imagem georreferenciada e o seu ponto de verificação correspondente. A Norma de Execução do INCRA/ DF/ N° 2 de 2018 estabelece o mínimo de 20 pontos de verificação devidamente sinalizados em campo visando à avaliação da acurácia posicional absoluta em georreferenciamento de imóveis rurais com aerofotogrametria.

A configuração de voo para obtenção das fotografias aéreas é outra etapa que influencia diretamente na resolução espacial da imagem e na precisão dos produtos gerados pela fotogrametria digital. Dois pontos importantes merecem destaque neste aspecto: a sobreposição das imagens capturadas e a distância do voo em relação ao solo. O *GSD* sigla em inglês para *Ground System Distance* consiste na distância em que a RPA se encontra do solo, e está diretamente relacionada com o tamanho do *pixel* da imagem gerada. Quanto mais próxima do solo, menor será o *GSD*, maior será a resolução e maior será o detalhamento das imagens. A sobreposição das imagens (frontal e lateral – entre 70% e 80%) também traz um melhor enquadramento, precisão e ajuste para o ortomosaico a ser gerado (RODRIGUES, 2020). Além de auxiliar nesta junção, a sobreposição permite a leitura estereoscópica, de profundidade e conseqüentemente permite o cálculo de altimetria do terreno após processamento de dados por software especializado.

No levantamento planialtimétrico por RPA são gerados milhares de pontos com cotas altimétricas, tornado a representação da superfície mais detalhada e mais fiel ao terreno. Oliveira e Jesus, 2018 em seus estudos, quando compararam os levantamentos planialtimétricos tradicionais com os via RPA concluíram que assim como os levantamentos tradicionais, o levantamento feito em seus estudos por *drone* se classificaram dentro dos parâmetros da classe A segundo a PEC, e que este padrão de exatidão validaram o método.



No mesmo estudo os autores colocaram ressalvas de que a precisão diminui quando se trata de mapeamentos com áreas de vegetação, edificações e obstáculos entre o terreno e a aeronave. Isto ocorre porque a aerofotogrametria extrai dados da superfície e não do terreno, passando a contar com dados estatísticos para triangular aquelas áreas onde os dados não foram possíveis de ser coletados.

Sopchaki *et. al.*, experimentaram um levantamento por RPA sem pontos de controle e comprovaram que com a ausência de tais pontos, os valores demonstraram que o uso de rotinas automatizadas de software possibilitou a geração de ortomosaicos para escala de 1:50.000 (classe A do PEC-PCD), escala inadequada para projetos de plantas cadastrais, mas aceitáveis para planejamento regional.

Para além da obtenção de dados planialtimétricos, tanto nos métodos tradicionais como nos métodos que se utilizam das novas tecnologias, a aerofotogrametria se desponsa dos demais pelo fornecimento de ortofotos, com grande riqueza de detalhes do terreno estudado. De acordo com Pamboukiam, 2019, estas imagens chegam a 1 centímetro de resolução espacial, ao ponto que as melhores imagens obtidas por satélite, na atualidade, chegam à 40 centímetros.

## CONCLUSÃO

Ao longo da pesquisa é inevitável a busca de uma resposta sobre o melhor método a se utilizar em um levantamento topográfico, que vise uma representação mais fiel possível do terreno estudado. Durante esta busca foi possível verificar a importância das técnicas e metodologias da topografia tradicional e também de suas novas tecnologias.

Apesar da maior parte das referências bibliográficas estudadas mencionarem a utilização do GNSS-RTK como rotina de campo, não se dá a merecida ênfase nestes levantamentos como metodologia propriamente dita. Sua utilização é fundamental para amarrar as novas metodologias às aquelas tidas como tradicionais. Sem ela não se obtém a precisão e acurácia exigidas nos levantamentos topográficos.

Alguns autores comprovaram benefícios em todas as metodologias expostas. Nas tradicionais por estação total obtiveram precisão e exatidão milimétricas, o que parecia, num primeiro momento, um ganho no projeto em relação aos levantamentos aerofotogramétricos. Isto de fato ocorre para terrenos de pequenas e médias dimensões e para projetos que exigem tal acurácia. No entanto, existem projetos que não necessitam de tamanho detalhamento, e que, em muitos casos abrangem dezenas de hectares de extensão. Nestes terrenos a utilização da estação total e até mesmo dos levantamentos via GNSS-RTK, na prática, se mostra trabalhosa e onerosa para a execução.

Neste sentido, o levantamento aerofotogramétrico via RPA torna o trabalho mais prático, sem que com isso se perca em qualidade. Quando este tipo de levantamento é feito de forma criteriosa, obtêm-se precisões centimétricas, aceitáveis para a maior parte dos levantamentos utilizados em topografia, principalmente àqueles voltados para

a análise ambiental de determinado território. Há de se pontuar também as limitações deste procedimento quando se depara com elementos que ocupam parte do terreno estudado, como é o caso dos fragmentos florestais, que não devem ser contemplados no levantamento. Nestes pontos há perda significativa de qualidade, por mais que se processe e interpole estes dados.

Dito isto, nos casos em que o levantamento aerofotogramétrico é mais indicado se faz necessário o uso, em conjunto, de estação total quando houver obstáculos como os referidos fragmentos florestais, onde a fotogrametria não obtém sucesso na leitura altimétrica, utilizando assim, os dois métodos de forma complementar.

No levantamento aerofotogramétrico, a geração de imagens ortorretificadas é um ganho a mais nesta metodologia, o que não é possível nos métodos tradicionais. De posse da imagem georreferenciada, é possível desenvolver, de forma mais prática em escritório, análises temporais do terreno, medições de áreas de quaisquer elementos inseridos na imagem, análises ambientais, bem como fotointerpretações com a finalidade de mapear o uso e ocupação do solo.

Desta forma é preciso não o uso desta ou daquela metodologia, mas sim a junção destas a depender do projeto a ser executado. O entendimento das metodologias abordadas neste estudo é de fundamental importância para que o profissional busque a melhor metodologia, ou o conjunto delas, que consiga aliar tempo, qualidade e custos para execução do projeto.

## REFERÊNCIAS

JENSEN, Jonh. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

JERONYMO, Andre Colares; PEREIRA, Pâmela Brunetto Alves. **Comparação de Métodos de Levantamento Topográfico, Utilizando Escâner a Laser, Estação Total e Fotogrametria Terrestre**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação de Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná/ Departamento Acadêmico de Construção Civil, 69 p. Curitiba, 2015.

NORMA DE EXECUÇÃO INCRA/ DF/ N° 2. **Estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais em atendimento ao parágrafo 3° do artigo 176 da Lei N° 6.015**. Boletim de Serviço, nº8, 19 de fevereiro de 2018.

OLIVEIRA, Henrique Carvalho de; JESUS, Henrique Potenciano de. **Análise Comparativa de Levantamentos Planialtimétricos – Topografia Convencional, GPS e Drone**. Monografia Apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás, 14p. Goiás, 2018.

OLIVEIRA, Renato Gonzaga. **Análise da Acurácia de Levantamento Topográfico Utilizando Imagens Aéreas Capturadas por VANT's e seus Usos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação de Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Uberlândia, 77 p. Uberlândia, 2020.


PAMBOUKIAM, Sergio Vicente Denser. **Topografia com Drones e GNSS**. Mostra Docente de Ciências, Tecnologia e Inovação da Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019.

RODRIGUES, Bruno Timóteo. **Topografia na Validação de Modelo de Terreno Obtido por Meio de Aeronave Remotamente Pilotada – RPA**. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, 93 p. Botucatu, 2020.

SOPCHAKI, Carlos Henrique; DA PAZ, Otacílio Lopez de Souza; GRAÇA, Niarkios Luiz Santos de Salles; SAMPAIO, Tony Vinícius Moreira. **Verificação da Qualidade de Ortomosaicos Produzidos a Partir de Imagens Obtidas com Aeronave Remotamente Pilotada sem o Uso de Pontos de Apoio**. Revista Ra'e Ga, v. 43, Temático de Geotecnologias, p.200-214. DOI: 100.5380/raega eISSN: 2177-2738, Curitiba, fev. 2018.

VEIGA, Luis Augusto Koenig. **Noções de Topografia Subterrânea**. Notas de Aulas, 57 páginas. Levantamentos Topográficos I – GA 029 – Engenharia Cartográfica – UFPR, Paraná, 2007.

# O USO DE ECOBARREIRAS NO COMBATE À FALTA DE SANEAMENTO BÁSICO NAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DE MATO GROSSO DO SUL

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9091224301011>

*Data de aceite: 05/12/2024*

**Isadora Martins Vieira**

**Bruna Gomes do Prado**

**Júlia Gomes do Prado**

**Isabele Pereira Rosa**

**Isabela Ribeiro Akamine**

**Emanuelle Chinelli Sabatel Panes de Oliveira**

**Leonel Jornada**

**Felipe Smolari Lacerda**

**João Bernardo Teles Leão Sena Santos**

**Fábio Feitosa**

**Pâmela Rafaela do Prado**

**Thiago Lopes Quevedo**

**RESUMO:** As populações ribeirinhas de Mato Grosso do Sul (MS), dependem dos rios para suas atividades diárias e enfrentam desafios relacionados ao acesso a serviços básicos, preservação ambiental e mudanças climáticas. Dentro do contexto da ODS 6, que visa garantir acesso a saneamento e higiene adequados, destaca-se a importância da conscientização sobre doenças causadas pela falta de água tratada. Para ajudar na despoluição dos rios, será abordado um estudo sobre a ecobarreira, que pode reter resíduos sólidos antes que cheguem a áreas sensíveis. Embora essa estrutura contribua para a limpeza, é essencial que os moradores realizem a purificação da água em suas casas. O sucesso dessas iniciativas depende de manutenção regular, educação ambiental e o envolvimento das comunidades, visando melhorar a qualidade de vida e promover práticas sustentáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** População Ribeirinha. Saneamento Básico. Barreiras de Filtragem de Água.

## THE USE OF ECOBARRIERS TO COMBAT THE LACK OF BASIC SANITATION IN THE RIVERSIDE POPULATIONS OF MATO GROSSO DO SUL

**ABSTRACT:** The riverside populations of Mato Grosso do Sul (MS) depend on the rivers for their daily activities and face challenges related to access to basic services, environmental preservation, and climate change. Within the context of SDG 6, which aims to ensure access to adequate sanitation and hygiene, the importance of raising awareness about diseases caused by the lack of treated water stands out. To help in the depollution of rivers, a study on the eco-barrier, which can retain solid waste before it reaches sensitive areas, will be addressed. Although this structure contributes to cleaning, it is essential for residents to purify the water in their homes. The success of these initiatives depends on regular maintenance, environmental education, and community involvement, aiming to improve quality of life and promote sustainable practices.

**KEYWORDS:** Riverside Population. Basic Sanitation. Water Filtration Barriers.

### DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A definição do problema parte da análise do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de número 6, em específico o subitem 6.2. O ODS 6 tem como proposta a garantia da gestão e disponibilidade da água potável e do saneamento básico. Já o subitem 6.2 busca alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados bem como acabar com a defecação a céu aberto, visando maior cuidado principalmente com o público feminino.

Definida na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), o ODS 6 com o subitem 6.2 entram em contraponto com a situação enfrentada pela população ribeirinha de Mato Grosso do Sul, que não dispõe de acesso adequado à água potável nem ao saneamento básico.

### HIPÓTESE

A implementação de ecobarreiras nos rios, associada à conscientização sobre saneamento básico e purificação da água nas residências, pode melhorar o acesso à água potável e contribuir para a saúde e qualidade de vida das populações ribeirinhas de Mato Grosso do Sul, alinhando-se o ODS 6 com o subitem 6.2.

### OBJETIVOS

#### Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica da implementação de ecobarreiras como alternativa para a melhoria das condições para o saneamento básico com a populações ribeirinhas nas regiões pantaneiras de Mato Grosso do Sul, visando melhorar as condições de saúde pública, reduzir impactos ambientais e promover a inclusão social.

## Objetivos Específicos

- Avaliar as condições atuais da população ribeirinha;
- Analisar a eficiência de ecobarreiras;
- Criar um sistema simulando a utilização de uma ecobarreira; e
- Avaliar a implementação de ecobarreiras.

## Justificativa

As dificuldades enfrentadas pela população ribeirinha de Mato Grosso do Sul são desafios relacionados ao acesso a água potável e saneamento básico, que estão em desacordo com os objetivos propostos pela ODS 6 da ONU. A estrutura para as famílias em muitos casos são precárias e expõem as comunidades a riscos de doenças. Nesse contexto, torna-se essencial investigar soluções viáveis que possam mitigar esses problemas e promover o desenvolvimento sustentável.

A implementação de tecnologias como ecobarreiras, que retêm resíduos sólidos nos rios, combinada com a conscientização sobre a necessidade de purificação da água nas residências. A tecnologia somada as ações de educacionais de saneamento higiene e tratamento da água, apresenta-se como uma alternativa promissora. Esse estudo representa uma análise e estratégia para garantir o acesso à água potável e saneamento, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dessas populações e para o cumprimento do ODS 6 em específico do item 6.2.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresentado no presente artigo é estruturado com as condições e enfrentamentos da população ribeirinha e na tecnologia das ecobarreiras e ações conjuntas que maximizam o processo de tratamento da água.

### Condições da população ribeirinha de Mato Grosso do Sul

As populações ribeirinhas de Mato Grosso do Sul são comunidades que vivem ao longo dos rios do estado, como o Rio Paraná, o Rio Paraguai e o Rio Aquidauana. Essas populações frequentemente dependem dos recursos naturais desses rios para suas atividades diárias, como pesca, agricultura e transporte (Noda, 2001). Muitas vezes, essas comunidades têm uma cultura rica e profundamente ligada ao ambiente natural ao seu redor (Moreira, 1960).

Essas populações podem enfrentar desafios relacionados à preservação ambiental, acesso a serviços básicos e mudanças climáticas que afetam a qualidade da água e a disponibilidade de recursos. Organizações governamentais e não governamentais trabalham para melhorar a qualidade de vida dessas comunidades, promovendo projetos de desenvolvimento sustentável e conservação ambiental (Guarim, 2000).

Cada comunidade tem suas próprias necessidades e desafios específicos, então é fundamental ouvir seus membros e trabalhar de forma colaborativa para encontrar soluções (Forgiarini, 2022). A falta de água tratada pode levar a uma série de problemas de saúde, especialmente em regiões como o Mato Grosso do Sul (MS), onde a água é um recurso essencial. Algumas das principais doenças associadas à falta de água tratada incluem:

- **Diarreia e Gastroenterite:** Contaminação da água pode resultar em infecções intestinais causadas por bactérias, vírus ou parasitas;
- **Hepatite A:** Transmitida por água ou alimentos contaminados, causando inflamação do fígado;
- **Cólera:** Doença bacteriana grave que causa diarreia severa e desidratação, podendo ser fatal se não tratada;
- **Esquistossomose:** Infecção parasitária causada por vermes que podem ser encontrados em águas contaminadas; e
- **Febre Tifoide:** Infecção bacteriana transmitida por água ou alimentos contaminados com *Salmonella typhi*.

Além das doenças infecciosas, a falta de água tratada pode impactar a qualidade de vida e levar a problemas de saúde relacionados à desidratação e ao saneamento inadequado. É essencial garantir acesso a água potável e investir em infraestrutura de saneamento para prevenir esses problemas.

Conscientizar as pessoas sobre as doenças transmitidas pela falta de água tratada é crucial para promover a saúde pública e prevenir surtos de doenças. Para Oliveira, Rodrigues e Carneiro (2008), as soluções para aumentar a conscientização como estratégia eficaz para diminuir as doenças transmitidas são:

- **Palestras e Oficinas:** Organizar palestras e workshops em escolas, comunidades, centros de saúde e igrejas para ensinar sobre a importância da água tratada e as doenças causadas pela falta de saneamento, como cólera, hepatite A, giardíase, esquistossomose e diarreia.
- **Educação nas Escolas:** Incorporar a educação sobre água tratada e higiene ao currículo escolar para que as crianças aprendam desde cedo a importância da água potável e os riscos de doenças.
- **Agentes Comunitários de Saúde:** Formar e capacitar agentes comunitários para visitar famílias, conversar com moradores, demonstrar práticas seguras de manipulação e armazenamento de água, e ensinar sobre a importância da água tratada.
- **Mobilização Social:** Envolver líderes comunitários, influenciadores locais e grupos religiosos para reforçar a mensagem e ajudar na disseminação das informações.

- Instalação de Pontos de Água Segura: Mostrar como utilizar filtros de água, sistemas de captação de água de chuva, ou técnicas simples de purificação, como a fervura ou o uso de soluções de cloro.
- Avaliação de Impacto: Coletar dados sobre as práticas de água e higiene antes e depois das intervenções para medir a eficácia das campanhas de conscientização e ajustar as estratégias conforme necessário.

Essas abordagens, combinadas, podem aumentar significativamente a conscientização sobre os riscos da falta de água tratada e incentivar práticas que promovam a saúde e o bem-estar da comunidade (Brasil, 1988).

## Ecobarreiras e ações conjuntas

As ecobarreiras são estruturas flutuantes responsáveis pela captação dos resíduos sólidos grandes, antes que esses cheguem a locais mais sensíveis (Moreira, 2021). Construir uma ecobarreira exige tempo, manutenção, e materiais específicos como flutuadores, malhas, cabos de aço e outros itens.

A implementação de ecobarreiras pode limpar parcialmente os rios, entretanto, a purificação completa da água para uso dos ribeirinhos, pode ser feita na própria casa do morador (Abrelpe, 2022). Na FIGURA 1, é demonstrado a preparação da ecobarreira instalada no Sahy no litoral norte de São Paulo.



FIGURA 1 – PREPARAÇÃO DE ECOBARREIRA

FONTE: Adaptado de Abrelpe (2022).

Em regiões suscetíveis a inundações, as ecobarreiras podem contribuir significativamente para mitigar os impactos de eventos extremos. Ao limitar a entrada de sedimentos e poluentes nos corpos d'água durante episódios de cheia, essas estruturas ajudam a reduzir os riscos de danos tanto aos ecossistemas quanto às propriedades das comunidades ribeirinhas (Contarini, 2022).

Segunda a Abrelpe (2022), ações que ajudam a despoluição após a aplicação da ecobarreira são:



- **Reutilização Direta:** Alguns objetos de plástico, como garrafas e sacolas, podem ser lavados e reutilizados diretamente várias vezes antes de serem descartados.
- **Upcycling:** Consiste em transformar objetos de plástico em novos produtos de maior valor, como usar garrafas PET para criar itens decorativos, móveis, brinquedos, etc.
- **Reciclagem Mecânica:** Plásticos são coletados, separados por tipo, limpos, triturados em pequenos pedaços e fundidos para criar novos produtos plásticos. Este é o método mais comum.
- **Educação e Conscientização:** Campanhas para educar o público sobre a importância da reciclagem e como separar os resíduos corretamente.

Essas práticas são essenciais para reduzir a poluição plástica, diminuir o desperdício e promover uma economia circular mais sustentável.

## Carvão Ativado biológico

O carvão ativado é um elemento que possibilita o tratamento biológico da água, sendo uma alternativa viável para compor a ecobarreira. Segundo Westphanlen, Corção e Benetti (2026), trata-se de um material poroso, de origem vegetal, que é usado em diversas aplicações, como desodorização e remoção de substâncias tóxicas e radioativas, medicamentos e purificação de água.

Para o consumo humano, a água precisa passar por tratamento biológico, que busca minimizar sua instabilidade, promovendo a oxidação de matéria orgânica biodegradável e de compostos inorgânicos em estado reduzido. Elementos como ferro, manganês, enxofre e amônia devem ser minimizados ao máximo. Dentre os processos que utilizam a ação de microrganismos para o tratamento da água, destacam-se a filtração em margem, a filtração lenta e o uso de carvão ativado biológico (Westphanlen; Corção; Benetti, 2026).

Bactérias, parasitas, substâncias cancerígenas e metais estão presentes em quantidades cada vez maiores nos leitos dos rios, sendo prejudiciais para a manutenção da saúde. Devido a seu grande poder de adsorção, o carvão ativado biológico é empregado em diversas áreas tecnológicas, destacando-se na área de tratamento de águas e do ar (Westphanlen; Corção; Benetti, 2026).

## METODOLOGIA

A metodologia foi definida em três etapas sendo, a revisão da literatura, produção de um sistema com ecobarragem e definição dos parâmetros para teste da água coletada antes e após a utilização da ecobarragem.

## Revisão da literatura

A revisão da literatura teve a finalidade de investigar publicações referentes ao tema. A busca pelas publicações ocorreu na base de dados do *Google Scholar*, e o idioma utilizado foi o português. Os termos utilizados para a busca foram “População ribeirinha de Mato Grosso do Sul”, “Saneamento básico”, “Água potável” e “Ecobarreira”. A seleção das publicações se deu mediante os temas abordados de acordo com o trabalho proposto compreendendo. Não foi delimitado o período limite de publicação.

### Produção de um sistema com ecobarragem

Para simular a ecobarragem, foram elaboradas uma barreira e uma estrutura para fixação da mesma e passagem da água. O teste ocorreu com a supervisão da engenheira civil Bárbara de Andrade Lopes Quevedo, especialista em barragem e com experiência profissional pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL).

A barreira produzida foi composta por uma trama metálica, boias de isopor e carvão ativado biológico. A barragem (FIGURA 2) possui dimensões de 48 centímetros (cm) de comprimento, 10 cm de altura e 3 cm de espessura.

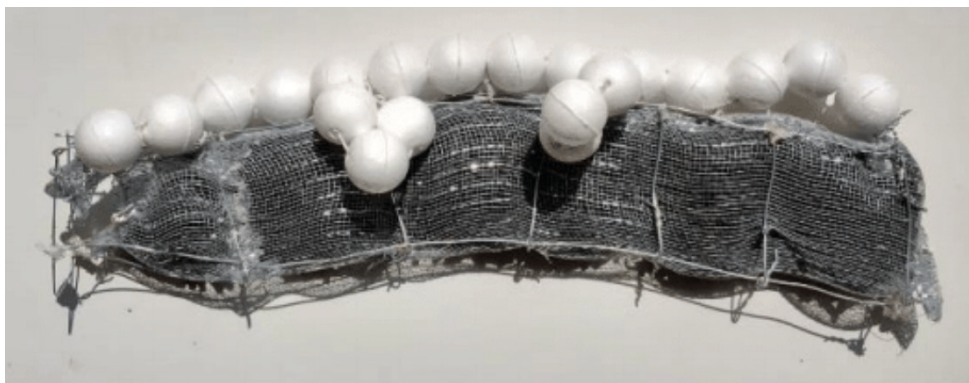


FIGURA 2 – PREPARAÇÃO DE ECOBARREIRA

FONTE: Autores (2024).

A estrutura (FIGURA 3) foi montada com duas laterais em madeira com dimensões de 20 cm de altura, 3 cm de espessura e 150 cm de comprimento. As laterais foram parafusadas em uma prancha de MDF com faces Duratex branca, dimensões de 2,5 cm de espessura 170 cm de comprimento e 48 cm de largura. A barreira foi fixada nas laterais da estrutura com parafusos.



FIGURA 3 – ESTRUTURA

FONTE: Autores (2024).

### parâmetros de teste

Para o teste com a barreira e a estrutura, foram despejados 10 litros de água coletada na Lagoa Itatiaia, em Campo Grande. A água foi vertida na estrutura de forma perpendicular ao solo, que estava inclinada a  $30^\circ$ , simulação necessária para reproduzir a correnteza de um rio.

Foram coletadas amostras de água em três etapas: antes da passagem pela barreira, após uma passagem pela barreira, e após duas passagens pela barreira. As amostras foram armazenadas em tubos de ensaio livres de contaminação.

Os testes químicos foram realizados no laboratório de química do Colégio Master, sob a orientação da professora de química Dra. Pâmela Rafaela do Prado. Cada amostra de água, com volume de 12 ml, foi submetida a medições de pH e análises visuais ao microscópio.

### RECURSOS UTILIZADOS

Os recursos utilizados na pesquisa incluíram equipamentos como laptops e computadores de mesa para a elaboração dos textos, acesso à internet e suporte de recursos humanos, representados pelo grupo de pesquisa da equipe de robótica MasterBots e por profissionais especializados em barragens, meio ambiente e análises químicas.

O recurso físico principal foi o laboratório de química do Colégio Master, que disponibilizou equipamentos como o medidor de pH/mV (Meter Hanna) e o microscópio biológico binocular DI-521B 2500x (DigitalLab), além de materiais auxiliares como pissetas, béqueres e placas de Petri.

CRONOGRAMA

O cronograma conforme QUADRO 1, representa as atividades de pesquisa, período e responsável.

Atividade	Semanas									
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª
Levantamento Bibliográfico										
Resumo da literatura										
Escrita do artigo										
Realização do experimento										
Coleta de dados (laboratório)										
Adaptação para a publicação										

QUADRO 1 - CRONOGRAMA  
FONTE: Autores (2024).

RESULTADOS

Foi desenvolvido um sistema baseado no conceito de ecobarreira, capaz de simular o fluxo de água de um rio. A partir da coleta de água pelo sistema, foram realizados testes de medição de pH. Inicialmente, o pH da água da lagoa foi medido em 6,3, indicando acidez. Após a primeira passagem pelo sistema desenvolvido, o pH aumentou para 6,7. Com uma segunda passagem pela barreira de carvão ativado, o pH alcançou 6,92, aproximando-se do valor neutro (pH 7), ideal para água potável.

CONCLUSÃO

O trabalho sobre ecobarreiras e ações conjuntas possui significativa contribuição no saneamento básico de sociedades ribeirinhas, demonstra soluções sustentáveis para a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida das comunidades envolvidas. As ecobarreiras, ao atuarem como barreiras físicas que impedem o acúmulo de lixo nos corpos d’água, são ferramentas essenciais para o controle da poluição e a proteção dos ecossistemas locais, promovendo um ambiente mais limpo e saudável.

Além disso, a utilização de ecobarreiras integra-se às iniciativas de saneamento básico nas regiões ribeirinhas, onde muitas vezes há limitações de infraestrutura e recursos. Por meio de estratégias de baixo custo e alto impacto, como o uso de materiais recicláveis e a mobilização comunitária, essas soluções se mostram eficazes na prevenção de doenças de veiculação hídrica, na melhoria das condições sanitárias e na conscientização ambiental.

Pelo sistema desenvolvido para simulação, coleta de dados e análise química, foi possível validar os experimentos apontados pela referência bibliográfica. Portanto, a implementação de ecobarreiras em comunidades ribeirinhas não apenas promove a sustentabilidade ambiental, mas também fortalece o engajamento social, garantindo que os próprios moradores se tornem agentes ativos na preservação de seus recursos naturais e na construção de um futuro mais saudável e sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E Ambiente (inea.rj.gov.br). Acesso em: 22 jun. 2022;

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil, 1988. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

CAMPOS, K. Governo, sociedade e inclusão: o papel do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome na promoção e articulação de ações para inclusão social. *Inclusão Social*, Brasília, v. 2, n. 1, p. 11-17, out. 2006/mar. 2007

CONTARINI, L. C.; JUNIOR, J. L. L. F.; MACHADO, P. P.; MILANEZE, L. A.; RABELLO, H.; ROCHA, L. S.; SILVA, M. A. P. Responsabilidade socioambiental: a ecobarreira mitigando atitudes e hábitos negligentes. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.8, n.3, 2022;

ecobarreira em cursos de água no município de Caçapava do Sul, RS. Caçapava do Sul, 2018;

FORGIARINI, G. M. Classificação dos resíduos sólidos urbanos coletados com o uso de

GUARIM, V. L. Sustentabilidade ambiental em comunidades ribeirinhas tradicionais. III Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal. 2000.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA. Disponível em: Instituto Estadual do Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Acesso em: 2 jul. 2022;

MAGALHÃES, D.P.; FERRÃO FILHO, A.S. A Ecotoxicologia como Ferramenta no Biomonitoramento de Ecossistemas Aquáticos. *Oecol. Bras.* n. 3, v. 12, p. 355-381, 2008

MOREIRA, Eidorfe. Amazônia: o conceito e a paisagem. Rio de Janeiro: Agência da SPVEA, 1960. (Coleção Araújo Lima).

MOREIRA, G. O. Impacto das ecobarreiras na qualidade de água e redução da poluição flutuante em rio urbano (Ribeirão dos Carrapatos, Itaí, SP). Sorocaba, 2021;

NODA, Sandra et al. Utilização e apropriação das terras por agricultura familiar amazonense de várzea In: DIEGUES, Carlos Antônio; MOREIRA, André de Castro C. (Org.). *Espaços e recursos naturais de uso comum São Paulo: Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas brasileiras*, USP, 2001.

OLIVEIRA, T.; RODRIGUES, B.; CARNEIRO, E. (2008) Qualidade de Vida de Ribeirinhos na Amazônia em Função do Consumo de Água. In *Anais do IV Encontro Nacional da Anppas*, Brasília. Junho. 2008.


RESÍDUOS ESPECIAIS. Disponível em: Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de


RIBEIRO, N.U.F.; AMÉRICO-PINHEIRO, J.H.P. Peixes como Bioindicadores de Agrotóxicos em Ambientes Aquáticos. *Anap Brasil*, v. 11, n. 22, p. 65-75, 2018.


WESTPHALEN, A. P. C.; CORÇÃO, G.; BENETTI, A. D. Utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água para consumo humano. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 425-436, jul./set. 2016.

# ENGENHARIAS

produtividade e inovação tecnológica 2

 [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)

# ENGENHARIAS

produtividade e inovação tecnológica 2

 [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)

  
Ano 2024