

Adriano Mesquita Soares  
(Organizador)

# Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente

Vol. 2



**AYA EDITORA**  
2024

# **Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente**

Vol. 2

Adriano Mesquita Soares  
(Organizador)

# **Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente**

Vol. 2



**AYA EDITORA**  
**2024**

---

## **Direção Editorial**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Organizador**

Prof.ª Dr. Adriano Mesquita Soares

## **Capa**

AYA Editora©

## **Revisão**

Os Autores

## **Executiva de Negócios**

Ana Lucia Ribeiro Soares

## **Produção Editorial**

AYA Editora©

## **Imagens de Capa**

br.freepik.com

## **Área do Conhecimento**

Ciências Biológicas

---

## **Conselho Editorial**

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

*Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí*

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza

*Centro Universitário Santa Amélia*

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

*Instituto Federal do Amapá*

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

*Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP*

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

*Centro Universitário FACEX*

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

*Universidade Federal de Sergipe*

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

*Universidade do Estado de Minas Gerais*

Prof.ª Ma. Denise Pereira

*Faculdade Sudoeste – FASU*

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

*Universidade Federal do Amapá*

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

*Universidade Estadual de Londrina*

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença*

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

*Universidade Federal de Sergipe*

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

*Universidade de Santa Cruz do Sul*

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

*Faculdade Santa Helena*

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

*Universidade Federal de Roraima*

Prof.º Me. Jorge Soistak

*Faculdade Sagrada Família*

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

*Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara*

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

*Universidade Federal do Paraná*

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

*Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais*

Prof.ª Ma. Lucimara Glap

*Faculdade Santana*

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

*Universidade Federal Rural de Pernambuco*

---

---

**Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues**

*Universidade Norte do Paraná*

**Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa**

*Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP*

**Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes**

*Universidade Estadual do Centro-Oeste*

**Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch**

*Faculdade Sagrada Família*

**Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda**

*Universidade Estadual de Ponta Grossa*

**Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes**

*Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas*

**Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani**

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

**Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira**

*Instituto Federal do Acre*

**Prof.º Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos**

*Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA*

**Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail**

*Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais*

**Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens**

*Faculdade Sagrada Família*

**Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares**

*Universidade Federal do Piauí*

**Prof.ª Dr.ª Sílvia Aparecida Medeiros Rodrigues**

*Faculdade Sagrada Família*

**Prof.ª Dr.ª Sílvia Gaia**

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

**Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos**

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

**Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues**

*Instituto Federal de Santa Catarina*

---

© 2024 - **AYA Editora** - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

---

B6155 Biologia, biotecnologia e meio ambiente [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2023. 240 p.

v.2

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-580-8

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345

1 Células. 2. Biodiversidade. 3. Biotecnologia. 4. Ecologia. 5. Desenvolvimento sustentável. 6. Desenvolvimento econômico - Aspectos ambientais. 7. Política ambiental. 8. Agroindústria - Brasil. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 570

---

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

---

## **International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA**

### **AYA Editora©**

CNPJ: 36.140.631/0001-53

Fone: +55 42 3086-3131

WhatsApp: +55 42 99906-0630

E-mail: contato@ayaeditora.com.br

Site: <https://ayaeditora.com.br>

Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

84.071-150

# SUMÁRIO

Apresentação..... 13

## 01

**Avanços em biotecnologia: biorremediação e metabolismo de bactérias púrpuras não sulfurosas .... 14**

Clariana Zanutto Paulino da Cruz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.1

## 02

**Síntese, caracterização e avaliação do potencial antimicrobiano de nanopartículas de prata obtidas a partir da *Dipteryx odorata*..... 27**

Yan Vitor Silva Oliveira

Arthur Abinader Vasconcelos

Maria Caroline Barbosa da Silva

Armélio Vasconcelos de Siqueira Neto

Paulo Sérgio Taube Júnior

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.2

## 03

**O impacto da educação na conservação da biodiversidade: como o conhecimento e a compreensão podem moldar as perspectivas e atitudes dos estudantes em relação aos serviços ecossistêmicos? ..... 36**

Lucas Gabriel Ferreira da Silva Carvalho

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.3



# 04

## **Perfil geoambiental de inselbergues na Caatinga Sertaneja e o papel do poder público na preservação ambiental: o caso do inselbergue Espinho Branco ..... 49**

Erlon Gomes Nunes  
Elenide de Sousa Martins  
Edilson Mendes Nunes  
Clorisvaldo Ferreira de Oliveira  
Antônio Pereira de Oliveira  
Pedro Jorge Oliveira Medeiros  
Regis de Medeiros Mota

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.4

# 05

## **Ocorrência de hidroxiclорquina, azitromicina e ivermectina em matrizes ambientais: uma revisão ..... 59**

Bruna Giovana Locatelli  
Ismael Laurindo Costa Junior  
Adelmo Lowe Pletsch

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.5

# 06

## **Contaminação de recursos hídricos por metais pesados ..... 78**

Ana Paula Barbosa Cavalcanti  
Elannie Salvina Costa da Silva  
Maria Karollyne dos Santos Paiva  
Palloma Maria Jacinto de Melo  
Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Galba Maria Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.6



# 07

**Glifosato como contaminante de alimentos e do solo .... 89**

Luiz Henrique Rodrigues  
Nathalia França Pessoa  
Rômulo Pereira da Silva  
Stefhanie Carmélia Matos Nunes  
Eliana Cristina Barreto Monteiro  
Galba Maria Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.7

# 08

**Mobilidade aérea urbana: análise da eficiência de um sistema UA (não tripulado) no mapeamento de solo nu ou exposto de manguezal urbano ..... 102**

José Nelson Bittencourt Santos Mendes  
Paulo Rogério Barbosa de Miranda

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.8

# 09

**Avaliação da água de nascentes e do ponto de captação no município de Mamanguape - PB ..... 120**

Maria Silvícléia da Silva Tavares  
Évio Eduardo Chaves de Melo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.9

# 10

**Avaliação da água do rio Cuité, Paraíba, Brasil ..... 136**

Victória Maria de Oliveira Santos  
Évio Eduardo Chaves de Melo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.10

# 11

**New geographic distribution of the species *Agama agama africana* Linnaeus, 1758 (Lizard), on the African continent ..... 154**

Nilmar Azevedo de Melo  
Silmo Schöler  
Jair Putzke  
Eduardo Alcayaga Lobo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.11

# 12

**Plantas sensíveis: as *Mimosas*..... 159**

Amanda Patrocínio da Cunha  
Fernando Mendes  
Ana Angélica Mathias Macêdo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.12

# 13

**Cascas do maracujá: uma análise da situação socioeconômica, ambiental e biotecnológica desse resíduo agroindustrial ..... 172**

Rodrigo Felipe Santana de Souza  
Jackeline Maria da Silva  
Gilberto Henrique Teles  
Ester Ribeiro

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.13

# 14

**Mecanismo das células mesenquimais na reparação de tecidos articulares..... 180**

Aline Mendonça Martinelli  
Messias Pacheco

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.14

# 15

**Otimização de sistemas de aeração em estações de tratamento de efluentes: avaliação de aeradores de baixa potência com soprador de ar ..... 187**

Alessandro Fernandes Barros  
Carlos Manuel Garate Cabezas  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.15

# 16

**Apreciação do artigo governança ambiental e economia verde ..... 196**

João Carlos Carneiro Barbosa  
Henrique Rodrigues Lelis  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.16

# 17

**Mestre da Botânica: um game de anatomia vegetal para disseminar aprendizados: uma proposta didática lúdica ..... 201**

Gabriela Pereira Moura  
Maria Gardênia Sousa Batista  
Maria de Fátima Vasconcelos de Oliveira  
Paulo Lopes Sobrinho  
Lorran André Moraes  
Francinalda Maria Rodrigues da Rocha  
Francisco Moisés Sousa Batista  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.17

# 18

**Utilização de perfis de solos como laboratórios didáticos para o ensino de disciplinas da área de meio ambiente e sustentabilidade..... 225**

Diego Lima de Souza Cruz  
Anna Bárbara de Souza Cruz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.345.18

**Organizador..... 234**

**Índice Remissivo..... 235**

---

# Apresentação

---

O segundo volume da obra **“Biologia, Biotecnologia e Meio Ambiente”** reflete o contínuo avanço científico em áreas cruciais para o entendimento e a preservação do nosso ambiente natural. Neste volume, são explorados temas que abrangem desde a biotecnologia aplicada à biorremediação, passando pela síntese e caracterização de nanopartículas com potencial antimicrobiano, até a análise da contaminação ambiental por substâncias químicas e metais pesados. A integração desses tópicos evidencia a complexidade e a interdependência dos processos biológicos e ambientais, assim como a importância de abordagens multidisciplinares para a resolução de problemas ecológicos contemporâneos.

A educação emerge como um fator chave na conservação da biodiversidade, destacando como o conhecimento pode moldar atitudes e perspectivas em relação aos serviços ecossistêmicos. Essa temática é complementada por estudos sobre o perfil geoambiental de regiões específicas, como os inselbergues na Caatinga Sertaneja, e a avaliação de políticas públicas voltadas para a preservação ambiental.

O impacto humano sobre o meio ambiente é analisado sob diferentes perspectivas, incluindo a contaminação por substâncias farmacêuticas em matrizes ambientais e a presença de herbicidas no solo e em alimentos. A eficiência de tecnologias emergentes, como sistemas não tripulados para o mapeamento ambiental, também é abordada, oferecendo novas ferramentas para a gestão sustentável dos recursos naturais.

Adicionalmente, o volume oferece uma visão detalhada sobre a qualidade da água em regiões específicas do Brasil, o que ressalta a necessidade de práticas eficazes de monitoramento e conservação. Estudos sobre a distribuição geográfica de espécies, a importância biotecnológica de resíduos agroindustriais e o papel das células mesenquimais na regeneração de tecidos reforçam a conexão entre a biotecnologia e a saúde ambiental.

Finalmente, o uso de ferramentas didáticas inovadoras, como jogos educacionais e a aplicação de perfis de solos como laboratórios didáticos, ilustra o potencial transformador da educação científica. Estes capítulos não apenas expandem o conhecimento acadêmico, mas também promovem uma compreensão mais profunda dos desafios e oportunidades na interface entre biologia, biotecnologia e meio ambiente.

Este volume se posiciona, assim, como uma contribuição significativa para a ciência ambiental, reunindo pesquisas que dialogam entre si e oferecem soluções inovadoras para a preservação e o entendimento do meio ambiente em suas diversas dimensões.

Boa leitura!

# Avanços em biotecnologia: biorremediação e metabolismo de bactérias púrpuras não sulfurosas

Clariana Zanutto Paulino da Cruz

## RESUMO

Nos últimos anos, a Biotecnologia tem se destacado como uma ferramenta essencial para a resolução de problemas ambientais, especialmente através da biorremediação, que utiliza organismos vivos para remover ou neutralizar poluentes. As Bactérias Púrpuras Não Sulfurosas (BPNS), como a *Rubrivivax gelatinosus*, têm atraído atenção devido à sua capacidade de realizar fotossíntese anoxigênica e seu metabolismo energético versátil, permitindo-lhes sobreviver em diversos ambientes e utilizar variadas fontes de energia e carbono. Essas bactérias não só ajudam na remoção de poluentes, mas também podem ser exploradas para a produção de bioprodutos, agregando valor econômico. O estudo revisa a literatura sobre Biotecnologia e biorremediação ambiental, focando nas BPNS e seu metabolismo energético, destacando a fotossíntese anoxigênica e suas aplicações em biorremediação. A biorremediação é definida como o uso de agentes biológicos para remover ou neutralizar contaminantes do solo e da água, podendo ser classificada em *in situ* (no local) e *ex situ* (fora do local contaminado). A primeira aplicação da Biotecnologia na biorremediação foi o tratamento de efluentes por lodos ativados. Atualmente, microrganismos e enzimas são amplamente utilizados em diversas aplicações ambientais. Os microrganismos, além de degradar resíduos e controlar doenças, são fontes de produtos úteis como fármacos, corantes e enzimas. As bactérias fotossintetizantes têm grande potencial biotecnológico em processos como biorremediação ambiental e produção de substâncias antivirais, biomassa, corantes, vitaminas e enzimas. Este estudo visa fornecer uma visão abrangente dos avanços e perspectivas futuras na área, servindo como um recurso valioso para pesquisadores.

**Palavras-chave:** biotecnologia; microrganismos; processamento de materiais.

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a Biotecnologia tem se destacado como uma ferramenta essencial para a resolução de diversos problemas ambientais, principalmente através da biorremediação. Esse processo utiliza organismos vivos para remover ou neutralizar poluentes do meio ambiente, sendo uma alternativa sustentável e eficiente para a depuração de áreas



contaminadas. Dentro deste contexto, as bactérias fotossintetizantes, particularmente as Bactérias Púrpuras Não Sulfurosas (BPNS), têm atraído considerável atenção devido à sua importante capacidade de realizar fotossíntese anoxigênica e ao seu versátil metabolismo energético.

O metabolismo energético dessas bactérias é notável por sua flexibilidade, permitindo-lhes a sobrevivência em diversos ambientes, além da utilização variada de fonte energética e carbono. As BPNS, como a *Rubrivivax gelatinosus*, são especialmente interessantes por sua habilidade de realizar fotossíntese utilizando luz e matéria orgânica em ambientes anaeróbicos. Este processo não só contribui para a remoção de poluentes, mas também pode ser explorado para a produção de bioprodutos, adicionando um valor econômico significativo à sua aplicação biotecnológica.

O objetivo deste estudo é fornecer uma revisão de literatura sobre a Biotecnologia e a biorremediação ambiental com foco nas Bactérias Púrpuras Não Sulfurosas. Este estudo aborda o metabolismo energético desses microrganismos, destacando a fotossíntese anoxigênica e a aplicação de BPNS em processos de biorremediação. Este trabalho pretende fornecer uma visão abrangente dos avanços e das perspectivas futuras nesta área, servindo como um recurso valioso para pesquisadores interessados no assunto.

## **Biotecnologia e Biorremediação Ambiental**

Biotecnologia é a aplicação dos princípios da ciência e engenharia para o processamento de materiais por agentes biológicos. Esta aplicação inclui alguns benefícios como a redução da poluição de processos industriais, economia de produção e geração de novos produtos (Gavrilescu e Chisti, 2005; Liao *et al.*, 2023).

Toda transformação ou remoção de contaminantes do meio ambiente por organismos vivos é chamada biorremediação ambiental. Esta definição do processo natural de tratamento de compostos antropogênicos teve origem há 30 anos atrás, em 1975, com um relatório intitulado *Beneficial Stimulations of Bacterial Activity in Groundwater Containing Petroleum Products*, por R. L. Raymond e colegas de trabalho. Neste trabalho, os autores relataram que a adição de nutrientes na superfície do solo aumentava o número de bactérias que degradavam hidrocarbonetos derivados do petróleo, e desse modo, impulsionava a remoção dos contaminantes (Litchfield, 2005).

De acordo com o Escritório de Estudos Geológicos do Departamento do Interior do Governo Americano (USGS), a biorremediação pode ser definida segundo o American Heritage Dictionary of the American Language como: “O uso de agentes biológicos tais como bactérias e plantas, para remover ou neutralizar contaminantes, como poluentes do solo e da água”.

Martins *et al.* (2003) definem biorremediação como uma ciência que busca, por meio de estudo, monitoramento e aplicação da propriedade degradativa dos microrganismos, a remediação ambiental. Os autores classificam a definição deste processo em biorremediação *in situ* (no local) que se dá no local contaminado, podendo ser de forma intrínseca, no qual a ciência pouco interfere. Quando há total ausência da interferência da ciência no processo, ela é denominada intrínseca-natural, e no inverso, denominada intrín-



seca-auxiliada. Esta interferência pode ser explicada como o auxílio à natureza por meio da recolocação de microrganismos e outros processos bem próximos dos utilizados pela própria natureza para fortalecer a ação dos microrganismos no processo da biodegradação. Em alguns casos, são aplicadas verdadeiras técnicas de engenharia, também chamadas de biorremediação engenhada, que vão desde a modificação topográfica do local, implantação de novos microrganismos (organismos alóctones), implantação de biorreatores e aplicação de nutrientes. Outra classificação é a biorremediação denominada *ex situ* em que apenas a parte afetada é removida do ambiente contaminado evitando-se assim um alastramento da contaminação (Muhammad *et al.*, 2024).

O tratamento de efluentes por lodos ativados foi a primeira aplicação da Biotecnologia na biorremediação, por meio do controle da poluição de ambientes aquáticos. Recentemente, microrganismos e enzimas têm sido utilizados em diversas aplicações (Gavrilescu e Chisti, 2005). A utilização de microrganismos no saneamento básico e ambiental é prática comum desde os primórdios do desenvolvimento dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias e resíduos sólidos. A capacidade microbiana de catabolizar diferentes compostos orgânicos, naturais ou sintéticos, e inorgânicos, extraíndo desses compostos fontes nutricionais e energéticas, é o que possibilitou o emprego desses agentes biológicos pela engenharia sanitária, como solução aos problemas gerados pelos dejetos lançados no meio ambiente (Vazoller, 2004).

Sabe-se, atualmente, que os microrganismos como bactérias e fungos, além de responsáveis por importantes transformações metabólicas, pelo controle biológico de doenças e pragas, pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico, pela degradação de resíduos vegetais e outros produtos, inclusive tóxicos, são também um manancial de fármacos, corantes, enzimas e ácidos orgânicos, entre muitos outros produtos úteis e ainda inexplorados. Além de exercerem um papel na sobrevivência de outras espécies e na manutenção do equilíbrio entre elas, são fontes de produtos que contribuem para o bem-estar da população humana, inclusive remediando o mal que a própria espécie humana produz ao ambiente. A importância dos microrganismos para a ecologia e biotecnologia é inquestionável. São numerosos os processos biotecnológicos que utilizam microrganismos, seja para obtenção de produtos de valor comercial, seja para, através do próprio processo, chegar-se a um resultado de interesse, como despoluição de um ambiente por biorremediação ambiental (Azevedo, 1998; Khuong *et al.*, 2024).

Um grupo especial de microrganismos, as bactérias fotossintetizantes, encontradas em ambientes naturais, tem sido aplicado com grande potencial biotecnológico, nos seguintes processos: biorremediação ambiental, produção de substâncias antivirais, produção de biomassa fonte de proteínas, corantes, vitaminas, ubiquinonas e enzimas (Azad *et al.*, 2003; Sasaki *et al.*, 2005; Swainsbury *et al.*, 2023).

## Metabolismo Energético

O metabolismo é um conjunto de atividades celulares com objetivos determinados constituído por reações químicas catalisadas por enzimas (Lehninger, 1993).

O metabolismo pode ser dividido de acordo com dois tipos de origens energéticas: a química e a luminosa. Organismos chamados fototróficos utilizam luz como fonte de

energia e incluem as plantas verdes, alguns microrganismos procariontes e eucariontes além de um grupo especial chamado bactérias fotossintetizantes. Essas bactérias podem ser denominadas púrpuras ou verdes. O termo autotrófico é dado a um grupo de organismos, exclusivamente os procariontes, capazes de crescer a partir de compostos inorgânicos, utilizando-se de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como fonte de carbono. Muitas células autotróficas obtêm a energia que necessitam a partir da luz solar. Organismos que requerem o carbono na forma orgânica reduzida, como a glicose, são chamados heterotróficos, incluindo os homens, os animais e algumas bactérias (Brock, 1994).

O processo fotoautotrófico é o metabolismo pelo qual os microrganismos convertem energia radiante em biológica e sintetizam compostos utilizando-se apenas de dióxido de carbono ou carbonatos como fonte de carbono, além de doadores de elétrons. O termo fotoheterotrófico refere-se à utilização de vários substratos orgânicos como fonte de carbono (Chen *et al.*, 2024; Eraso e Kaplan, 2006).

Os microrganismos capazes de utilizar compostos químicos inorgânicos como fonte energética são denominados quimiolitotróficos, enquanto que os quimioheterotróficos utilizam-se dos compostos químicos orgânicos (Brock, 1994).

## A Fotossíntese e as Bactérias Fotossintetizantes

A fotossíntese pode ser caracterizada por reação química na presença de luz na qual a energia luminosa é convertida em energia química (reação de claro) com a redução do  $\text{CO}_2$  em compostos orgânicos e, por reação de escuro, na qual a energia química é usada para a fixação do  $\text{CO}_2$ . A conversão da energia luminosa em energia química ocorre com a formação da adenosina trifosfato (ATP) e é dependente da presença de pigmentos luminosos como as clorofilas e as organelas intracelulares, os cloroplastos, presentes em algas e plantas. As bactérias fotossintetizantes púrpuras e verdes utilizam a luz para formarem ATP, produzindo nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH) da redução de materiais presentes no meio, como  $\text{H}_2\text{S}$  e compostos orgânicos. Nestas bactérias, os cloroplastos não estão presentes e os principais pigmentos fotossintetizantes são chamados bacterioclorofilas, responsáveis pela absorção da luz e ejeção de elétrons em decorrência da excitação luminosa de suas moléculas. Em continuidade às reações de transformação de energia luminosa em energia química, esses elétrons são presos por aceptores (Brock, 1994).

As bactérias fotossintetizantes possuem diversos tipos de bacterioclorofilas como *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, além de produzirem também os pigmentos carotenóides (Eraso e Kaplan, 2006).

As bacterioclorofilas são caracterizadas pelos grupos substituintes do anel porfirínico constituinte e, também, pelos espectros de absorção de luz, sendo que cada bacterioclorofila absorve luz de um comprimento de onda específico. Esta luz, quando absorvida pelas bacterioclorofilas, pode, em contato com o ar, desencadear reações chamadas fotooxidativas, que causam injúria ao aparelho fotossintético da célula (Brock, 1994; Chen *et al.*, 2024; Ponsano, 2000).

Os carotenóides são capazes de absorver luz em comprimentos de ondas complementares aos das bacterioclorofilas e possuem importante função no processo fotossintético, sendo acessórios complementares para a obtenção de energia luminosa e funcionando, também, como agentes fotoprotetores, absorvendo grande parte da luz nociva e protegendo a célula, além de realizarem transferência de energia ao centro da reação para a posterior utilização na fotofosforilação, tornando ampla a faixa de espectro efetiva da fotossíntese (Ponsano, 2000).

As bacterioclorofilas e os carotenóides, maiores pigmentos absorventes de luz das bactérias fotossintetizantes anaeróbias, são formadores de dois sistemas importantes para a realização da fotossíntese desses microrganismos: o centro de reação fotoquímico e os complexos revestidores de luz (LH). Os complexos LH absorvem luz quanta e transportam a energia para o centro de reação (Yurkov e Beatty, 1998).

Os procariontes fotossintetizantes diferem-se em dois grupos: as bactérias púrpuras e verdes e as cianobactérias. As cianobactérias realizam fotossíntese oxigênica, em que ocorre a produção de oxigênio. As bactérias púrpuras e verdes realizam fotossíntese anoxigênica, na qual não há a produção de oxigênio, sendo desprovidas de fotossistema II, que compreende a fotólise da água. Estas bactérias utilizam-se de compostos reduzidos de enxofre, hidrogênio molecular, ou simplesmente de compostos orgânicos como doadores de elétrons, originando compostos oxidados como sulfatos, prótons, compostos orgânicos e CO<sub>2</sub> (Balloni *et al.*, 1982; Brock *et al.*, 1994).

Sabe-se que as bactérias púrpuras anoxigênicas que realizam fotossíntese sob condições anaeróbias na presença de luz possuem um aparato fotossintético anoxigênico, cuja função é a transformação da energia luminosa em gradiente eletroquímico de prótons da membrana fotossintética, o qual pode ser usado para a produção de ATP, o transporte ativo, a motilidade e outros processos de consumo de energia (Drews e Golecki, 1995).

Segundo Yurkov e Beatty (1998), as bactérias púrpuras fototróficas possuem em adição à membrana citoplasmática um sistema intracitoplasmático de membrana (ICM). Os pigmentos dessas bactérias são incorporados ao sistema intracitoplasmático de membrana. A luz e a tensão de oxigênio regulam a formação da ICM. A ICM é induzida quando a tensão de oxigênio é baixa e possui um maior desenvolvimento quando ocorre sob condições anaeróbias. Os autores apresentam a existência de um grupo de bactéria que também produz bacterioclorofila *a* e pigmentos carotenóides designado bactéria fototrófica anoxigênica aeróbia e evidenciam a incapacidade de utilização da bacterioclorofila no crescimento anaeróbio como o aspecto diferencial deste grupo de microrganismo.

Uma diferença entre as bactérias fotossintetizantes anoxigênicas e os organismos oxigênicos é o centro de reação, cada espécie possui um tipo específico. Entretanto, nenhum destes dois tipos de reações bacterianas é capaz de extrair elétrons da molécula de água e muitas espécies podem sobreviver somente em ambientes com baixa concentração de oxigênio. Para fornecer elétrons para a redução do CO<sub>2</sub>, as bactérias fotossintetizantes anoxigênicas devem oxidar as moléculas inorgânicas ou orgânicas disponíveis em seu ambiente. Por exemplo, a bactéria púrpura *Rhodobacter sphaeroides* pode usar o succinato para reduzir o nicotinamida adenina dinucleotídeo NAD<sup>+</sup> por transferência reversa do

elétron ligado à membrana dirigido por um potencial eletroquímico. Apesar de algumas diferenças, os princípios gerais de transferência de energia são os mesmos na fotossíntese anoxigênica e oxigênica (Whitmarsh e Govindjee, 2006).

Como critérios de classificação das bactérias anoxigênicas fototróficas pode-se citar a hibridização do DNA\_rRNA, o tipo de pigmentação, as estruturas dos lipopolissacarídeos, a utilização dos substratos orgânicos, a morfologia da membrana intracitoplasmática, a composição do DNA, lipídeos e quinonas, bem como a assimilação de sulfato (Eraso e Kaplan, 2006).

As bactérias fotossintetizantes anoxigênicas são sistematicamente encontradas em duas ordens e em quatro famílias. A ordem *Rhodospirillales* inclui as famílias *Chromatiaceae* (bactérias púrpuras sulfurosas) e *Rhodospirillaceae* (bactérias púrpuras não sulfurosas); a ordem *Chlorobiales* compreende as famílias *Chlorobiaceae* (bactérias verdes sulfurosas) e *Chloroflexaceae* (bactérias verdes não sulfurosas) (Imhoff, 1992).

As bactérias púrpuras possuem pigmentos fotossintetizantes localizados em organelas designadas pela membrana intracitoplasmática, sendo os principais pigmentos as bacterioclorofilas *a* ou *b*, e os carotenóides da série espiriloxantina e espiriloxantina alternativa. Possuem motilidade, são encontradas em ambientes aquáticos e podem ser subdivididas em púrpuras sulfurosas e púrpuras não sulfurosas de acordo com a habilidade ou incapacidade de utilização do elemento enxofre como doador de elétron na assimilação fototrófica do dióxido de carbono (Balloni *et al.*, 1982).

As Bactérias Púrpuras Não Sulfurosas compreendem o grupo mais diversificado das bactérias púrpuras pela grande variedade morfológica, diferenças na estrutura das membranas e nos tipos de pigmentos carotenóides, além de apresentar uma interessante versatilidade energética (Ponsano, 2000).

Dentre as bactérias púrpuras, as *Chromatiaceae* formam glóbulos de enxofre intracelulares a partir de  $H_2S$ , exceto *Ectothiorhodospira* que o deposita extracelularmente. Intra ou extracelular, o enxofre é posteriormente oxidado a sulfato. Nas *Rhodospirillaceae*, a oxidação do  $H_2S$  resulta em sulfato sem a formação intermediária do enxofre elementar, e é restrita a algumas espécies, como exemplo, a bactéria *Rhodopseudomonas palustris*. As *Rhodospirillaceae* fotoassimilam os seguintes compostos orgânicos: ácidos carboxílicos, cetonas, álcoois primários e secundários, ácidos graxos e seus derivados, além de compostos aromáticos simples. As bactérias fotossintetizantes utilizam ainda, como fonte de nitrogênio, os seguintes compostos: nitrogênio amoniacal, nitratos, uréia, aminoácidos, peptonas e extrato de levedura; sendo este último fonte de carbono e também fator de crescimento. Os açúcares quase não são assimilados, exceto aerobicamente no escuro; já os polissacarídeos e os biopolímeros nunca são utilizados (Imhoff e Truper, 1989).

Dentre os fatores de crescimento, as bactérias fotossintetizantes utilizam-se de vitaminas do grupo B como a biotina, a tiamina, o ácido p-aminobenzóico, o ácido nicotínico e a niacina. A luz possui influência determinante sobre o desenvolvimento das atividades bioquímicas destas bactérias. A intensidade luminosa e sua composição espectral regulam a quantidade de pigmento fotossintetizante presente na célula. O ótimo de temperatura para o crescimento encontra-se na faixa entre 30-35°C e o valor ótimo de pH entre 7,0 e 8,5

aproximadamente, com exceção para *Rhodopseudomonas acidophila* em que o pH ótimo está ao redor de 5,6 (Balloni *et al.*, 1982).

Quanto à ecologia, as bactérias fotossintetizantes anoxigênicas ocupam habitat aquático como águas eutrofizadas internas e costeiras, águas residuais zootécnicas e domésticas, águas termais, solos submersos, onde são, geralmente, influenciadas pela disponibilidade de luz, compostos reduzidos de enxofre ou produtos finais do metabolismo anaeróbio de outros microrganismos e por uma baixa concentração de oxigênio (Truper e Imhoff, 1992; Eraso e Kaplan, 2006).

Os microrganismos fotossintetizantes têm sido comumente estudados em biotecnologia devido à eficiência biológica e à capacidade de utilização da energia luminosa para a produção de compostos orgânicos. O uso de bactérias fotossintetizantes no tratamento de resíduos da indústria de alimentos, na produção de rações para animais com alto valor nutricional e no acúmulo de carotenóides tem sido observado por pesquisadores (Kobayashi e Tchan, 1973; Sasaki *et al.*, 1978; Noparatnaraporn *et al.*, 1983; Noparatnaraporn e Nagai, 1986; Getha *et al.*, 1998; Kim e Lee, 2000; Ponsano, 2000; Azad *et al.*, 2003; Ponsano *et al.*, 2003; Costa *et al.*, 2004).

## As Bactérias Púrpuras não Sulfurosas

As Bactérias Púrpuras Não Sulfurosas, que levam esse nome por serem incapazes de oxidar enxofre a sulfato, constituem o grupo das bactérias fototróficas que, sob condições anaeróbias, possui crescimento fotoheterotrófico, utilizando-se de diversos substratos orgânicos como acetatos, piruvatos e ácidos dicarboxílicos (Balloni *et al.*, 1982). Por outro lado, estes microrganismos são capazes de crescer fotoautotroficamente utilizando-se de hidrogênio ou compostos reduzidos de enxofre como doadores de elétrons, além do dióxido de carbono como carbono de origem. Estes organismos são capazes de crescer em ambientes com concentrações variáveis de oxigênio. Muitas espécies são capazes de crescer quimioheterotroficamente sob condições microaeróbicas e aeróbicas no escuro ou na presença de luz. O oxigênio inibe a síntese de fotopigmentos nestas bactérias. Algumas espécies também crescem quimiolitotroficamente (Eraso e Kaplan, 2006).

Outras podem realizar metabolismo sob anaerobiose no escuro, usando compostos químicos como aceptores de elétrons. São amplamente distribuídas na natureza, podendo ser encontradas em ambientes aquáticos marinhos ou de água doce, em solos úmidos e em diversos tipos de efluentes industriais. Possuem a capacidade de degradação da matéria orgânica destes efluentes, principalmente na presença de luz solar ou em ambientes abaixo da superfície sob condições anaeróbicas em lagoas de depuração (Imhoff e Truper, 1989).

Segundo Holt *et al.* (1994), existem 26 espécies encontradas em 6 gêneros no subgrupo 3 da classificação das BPNS: *Rhodobacter*, *Rhodocyclus*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopila*, *Rhodopseudomonas* e *Rhodospirillum*. O gênero *Rhodocyclus* compreende três espécies: *Rhodocyclus purpureus*, *Rhodocyclus tenuis* e *Rhodocyclus gelatinosus*. Atualmente três novos gêneros têm sido citados e englobam um total de 31 espécies arranjadas em 9 gêneros: *Rhodoferax*, *Rubrivivax* e *Rhodocista*.



Pesquisas com hibridização de DNA-rRNA possibilitaram a transferência de *Rhodocyclus gelatinosus* para o novo gênero *Rubrivivax*, como *Rvi. gelatinosus*, cujas diferenças em nível molecular não interferem nas características fisiológicas desse microrganismo, permanecendo assim a mesma descrição (Holt, 1994; Truper e Imhoff, 1992; Yurkov e Beatty, 1998; Agalidis *et al.*, 1999; Steiger *et al.*, 2000).

### ***Rubrivivax Gelatinosus***

*Rubrivivax gelatinosus* é caracterizada como bactéria fototrófica púrpura não sulfurosa pertencente à família *Rhodospirillaceae*, não utiliza compostos reduzidos de enxofre como doadores de elétrons e requer vitaminas como biotina e tiamina para o seu crescimento. É um bacilo Gram-negativo, levemente encurvado ou reto, medindo de 0,4 a 0,7 µm por 1 a 3 µm. Suas células possuem motilidade pela presença de um flagelo polar. Multiplica-se por fissão binária e encontra-se amplamente distribuída em ambientes naturais e efluentes industriais. Possui membranas fotossintetizantes revestidas por pequenas invaginações em forma de dedo da membrana intracitoplasmática (Imhoff e Truper, 1989; Kis *et al.*, 2024).

A bactéria *Rvi. gelatinosus* é naturalmente encontrada em efluente de abatedouro avícola e em lagoas de estabilização, possibilitando a aplicação deste microrganismo no tratamento destes resíduos. Muitos estudos têm sido desenvolvidos com esta bactéria envolvendo o seu crescimento em resíduos industriais tanto para a realização do tratamento biológico quanto para a produção de células protéicas (Truper e Imhoff, 1992; Prasertsan *et al.*, 1993; Prasertsan *et al.*, 1997; Ponsano, 2000; Choirit *et al.*, 2002; Ponsano *et al.*, 2003).

*Rvi. gelatinosus* possui crescimento fotoautotrófico quando utiliza-se de hidrogênio molecular como doador de elétrons e CO<sub>2</sub> como doador de carbono. Porém, prefere o modo de crescimento fotoheterotrófico sob condições anaeróbicas na presença de luz e com diferentes substratos orgânicos como doadores de carbono e elétrons, podendo fotoassimilar acetato, citrato, fumarato, etanol, glicose, lactato, malato, piruvato e succinato.

Pode utilizar-se de citrato como única fonte de carbono para o seu crescimento, sendo este composto o constituinte principal no enriquecimento seletivo de seu cultivo. Algumas cepas podem também apresentar crescimento sob condições microaeróbicas ou aeróbicas no escuro (Balloni *et al.*, 1982). Esta bactéria possui a capacidade de liquefazer a gelatina, por meio de uma protease extracelular e apresenta temperatura e pH ótimo de crescimento de 30°C e 6,5-7,5 respectivamente (Holt *et al.*, 1994).

Os principais pigmentos fotossintetizantes de *Rvi. gelatinosus* são as bacterioclorofilas e os carotenóides da série espiriloxantina alternativa, cujos componentes principais são esferoidene, hidroxiesferoidene e espiriloxantina. Esses pigmentos carotenóides, além de responsáveis pela coloração de suas colônias, que varia de rosa a vermelho podem ainda ser utilizados como pigmentantes de rações, devido à capacidade de deposição tissular em alguns animais (Ponsano, 2000; Ponsano *et al.*, 2003).

Hu e Gao (2003) estudaram a otimização de crescimento e composição de ácidos graxos da microalga *Nannochloropsis sp* sob condições fotoautotróficas enriquecida com

CO<sub>2</sub> e em condições mixotróficas com adição de acetato. Foi possível uma produção de biomassa rica em ácidos graxos e proteínas. De acordo com os autores, os ácidos graxos produzidos por microalgas podem possuir valores nutritivos para a saúde de animais e humanos.

Segundo uma pesquisa realizada por Fontana (2006), a levedura *Xanthophyllomyces* pode ser cultivada em caldo de cana bruto e uréia ou em bagaço de cana hidrolisado para a produção de astaxantina. O autor revela que a vinhaça, um subproduto poluidor da indústria sucro-alcooleira, quando adicionada ao cultivo, possui efeito benéfico, aumentando o teor de astaxantina.

## Aplicações Biotecnológicas das BPNS

As BPNS têm se mostrado eficazes no tratamento de efluentes devido à sua habilidade de utilizar uma ampla gama de substratos orgânicos e inorgânicos como fontes de carbono e energia. Estudos recentes demonstram que essas bactérias podem ser empregadas na remoção de nutrientes e poluentes de efluentes industriais e domésticos. Por exemplo, *Rhodopseudomonas* foi utilizada na remoção de amônia e fósforo de águas residuais, mostrando uma eficiência significativa na redução de contaminantes (Sun *et al.*, 2023).

Outra aplicação notável é a biorremediação de efluentes contendo metais pesados. As BPNS, como, *Rhodopseudomonas palustris* podem adsorver e precipitar metais pesados, reduzindo sua toxicidade e facilitando a recuperação de metais valiosos. Essa propriedade é particularmente útil em indústrias de galvanoplastia e mineração, onde a contaminação por metais pesados é comum (Qian *et al.*, 2024).

As BPNS também são valorizadas pela produção terpenos, que constituem um dos maiores grupos de metabólitos secundários utilizados, por exemplo, como aditivos alimentares, fragrâncias ou produtos farmacêuticos. Hage-Hülsmann *et al.* (2021) demonstraram a aplicabilidade da bactéria fototrófica modificada *Rhodobacter capsulatus* na produção heteróloga de diversas classes de terpenos (esqualeno e β-caroteno).

Além das aplicações mencionadas, as BPNS têm sido exploradas na produção de biohidrogênio, um combustível limpo e renovável. A capacidade de algumas BPNS de fotossintetizar e produzir hidrogênio sob condições anaeróbicas abre caminho para a utilização dessas bactérias em sistemas de produção de energia sustentável (Kapdan e Kargi, 2006).

Outro campo emergente é o uso de BPNS na produção de biofertilizantes. As BPNS podem fixar nitrogênio e promover o crescimento de plantas, sendo utilizadas em agricultura sustentável. Estudos mostram que a inoculação de BPNS em solos agrícolas pode aumentar a produtividade das culturas, melhorar a qualidade do solo e reduzir a dependência de fertilizantes químicos (Khuong *et al.*, 2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços recentes em Biotecnologia têm revelado um potencial extraordinário para o uso das Bactérias Púrpuras Não Sulfurosas (BPNS) em aplicações de biorremediação



e no estudo do metabolismo energético. Este artigo de revisão destacou a versatilidade das BPNS, especialmente o gênero *Rubrivivax gelatinosus*, na conversão de energia luminosa em energia química por meio da fotossíntese bacteriana. A capacidade dessas bactérias de metabolizar uma ampla gama de substratos orgânicos e inorgânicos, aliada à sua eficiência na fixação de CO<sub>2</sub>, abre novas fronteiras para a remediação ambiental de ecossistemas poluídos.

Além das suas capacidades de biorremediação, as BPNS são fontes valiosas de pigmentos carotenoides, compostos bioativos com aplicações industriais significativas. Os carotenoides produzidos por *Rubrivivax gelatinosus*, por exemplo, possuem propriedades antioxidantes e corantes, encontrando utilidade em setores como a indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica. A produção biotecnológica desses pigmentos representa uma alternativa sustentável e econômica aos métodos tradicionais de síntese química.

Em suma, a integração das BPNS em estratégias de biorremediação e produção de carotenoides não só demonstra a versatilidade e a eficácia dessas bactérias, mas também abre novas perspectivas para a biotecnologia ambiental e industrial. O contínuo investimento em pesquisa e desenvolvimento nesse campo é crucial para transformar o potencial dessas bactérias em soluções práticas e aplicáveis, beneficiando tanto o meio ambiente quanto diversas indústrias. As futuras investigações devem focar na otimização dos processos biotecnológicos e na expansão das aplicações das BPNS, garantindo um impacto positivo e duradouro.

## REFERÊNCIAS

- AGALIDIS, I.; MATTIOLI, T.; REISS-HUSSON, F. **Spirilloxanthin is released by detergent from *Rubrivivax gelatinosus* reaction center as an aggregate with unusual spectral properties**. *Photosynthesis Research*, v. 62, n. 1, p. 31-42, 1999.
- AZAD, S.A.; VIKINESWARAY, S.; CHONG, V.C.; RAMACHANDRAN, K.B. **Rhodovulum sulfidophilum in the treatment and utilization of sardine processing wastewater**. *Letters in Applied Microbiology*, v. 38, n. 1, p. 13-18, 2003.
- AZEVEDO, J.L. Biodiversidade microbiana e potencial biotecnológico. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J.L. *Ecologia microbiana*. Jaguariúna: Embrapa CNPMA, 1998. p. 445-461.
- BALLONI, W.; CARLOZZI, P.; VENTURA, S.; DE PHILIPPIS, P.; BOSCO, M. **A three years experiment on the production of *Rhodopseudomonas* and *Rhodospirillum* biomass by outdoor culture on different wastes**. In: *International conference on biomass for energy and industry*, 4, 1987, Orleans. *Proceedings* London: Elsevier Applied Science, 1987. p. 598-602.
- BALLONI, W.; MATERASSI, R.; FILPI, C.; SILI, M.; VINCENZINI, A. E.; FLORENZANO, G. **II metodo di trattamento a batteri fotosintetici delle acque di scarico**. Firenze: Progetto Finalizzato CNR Promozione della Qualità dell'Ambiente, 1982. 205 p.
- BROCK, T. D.; MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Biology of microorganisms**. New York: Prentice Hall, 1994. 909p.

CHEN, J. *et al.* **Transcriptome analysis reveals the molecular mechanism of differences in growth between photoautotrophy and heterotrophy.** In *Chlamydomonas reinhardtii*. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, p. 1407915, 2024.

CHOORIT, W.; THANAKOSET, P.; THONGPRADISTHA, J.; SASAKI, K.;

COSTA, J. A. V.; COLLA, L. M.; DUARTE FILHO, P. F. **Improving** *Spirulina platensis* **biomass yield using aa fed-batch process.** *Bioresource Technology*, v. 92, n. 3, p. 237-241, 2004.

DREWS, G.; GOLECKI, J. R. **Structure, molecular organization and biosynthesis of membranes of purple bacteria.** In: BLANKENSHIP, R. E.; MADIGAN, M. T.; BAUER, C. E. *Anoxygenic photosynthetic bacteria*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1995. p. 231–257.

ERASO, J.M.; KAPLAN, S. **Photoautotrophy.** *Encyclopedia of Life Sciences, Intercience*. Disponível em: <<http://www.nrw.intercience.wiley>> Acesso em: 16 jan 2006.

FONTANA, J. D.; MENDES, S. V.; PERSIKE, D.; PERACETTA, L. F.; PASSOS, M. **Carotenóides: cores atraentes e ação biológica.** *Biotecnologia ciência & desenvolvimento*. Disponível em: <[http://www.Biotecnologia.com.Br/bio/13\\_e.htm](http://www.Biotecnologia.com.Br/bio/13_e.htm)> Acesso em 2 set 2006.

GAVRILESCU, M.; CHISTI, Y. **Biotechnology: a sustainable alternative for chemical industry.** *Biotechnology Advances*, v. 23, n. 7-8, p. 471-499, 2005.

GETHA, K.; VIKINESWARY, S.; CHONG, V.C. **Isolation and growth of the phototrophic bacterium *Rhodopseudomonas palustris* strain B1 in sago-starch-processing wastewater.** *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 14, n. 4, p. 505-511, 1998.

HOLT, J.G. **Anoxygenic phototrophic bacteria.** In: HOLT, J. G. (Ed.) *et al.* *Bergey's manual of determinative bacteriology*. 9<sup>th</sup> ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. p. 353-376.

HU, H.; GAO, K. **Optimization of growth and fatty acid composition of a unicellular marine picoplankton, *Nannochloropsis* sp., with enriched carbon sources.** *Biotechnology Letters*, v. 25, n. 5, p. 421-425, 2003.

HAGE-HÜLSMANN, J. *et al.* **Production of C20, C30 and C40 terpenes in the engineered phototrophic bacterium *Rhodobacter capsulatus*.** *Journal of biotechnology*, v. 338, p. 20-30, 2021.

IMHOFF, J.F. **Taxonomy, phylogeny and general ecology of anoxygenic phototrophic bacteria.** In: MANN, N.H.; CARR, N.G. *Photosynthetic Prokaryotes*. New York: Plenum Press, 1992. p. 53-92.

IMHOFF, J. P.; TRUPER, H. G. **Purple nonsulfur bacteria.** In: STALEY, J. T. (Ed.) *et al.* *Bergey's manual of systematic bacteriology*. 8.ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1989. p. 1635 – 1709.

KAPDAN, I. K.; KARGI, F. **Bio-hydrogen production from waste materials.** *Enzyme and microbial technology*, v. 38, n. 5, p. 569-582, 2006.

KHUONG, N. Q. *et al.* **Influence of purple non-sulfur bacterial augmentation on soil nutrient dynamics and rice (*Oryza sativa*) growth in acidic saline-stressed environments.** *PeerJ*, v. 12, p. e16943, 2024.

KIM, J. K.; LEE, B. K. **Mass production of Rhodopseudomonas palustris as diet for aquaculture.** Aquacultural engineering, v. 23, n.4, p. 281-293, 2000.

KIS, M. *et al.* **Probing ligands to reaction centers to limit the photocycle in photosynthetic bacterium Rubrivivax gelatinosus.** Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, p. 112969, 2024.

KOBAYASHI, M.; TCHAN, Y. T. **Treatment of industrial waste solutions and production of useful by-products using a photosynthetic bacterial method.** Water Research, v. 7, n. 8, p. 1219-1224, 1973.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica.** São Paulo: Sarvier, 1993. 725p.

LIAO, C. *et al.* **Bench-to-bedside: Translational development landscape of biotechnology in healthcare.** Health Sciences Review, v. 7, p. 100097, 2023.

LITCHFIELD, C. **Thirty years and counting: biorremediation in its prime?** BioScience, v. 55, n. 3, p. 273-279, 2005.

MARTINS, A.; DINARDEI, A. L.; FORMAGI, V. A; LOPES, T. A; BARROS, R. M.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. **Biorremediação.** In: Fórum De Estudos Contábeis, 3., 2003, Rio Claro. Anais eletrônicos... São Paulo: 2003.

MUHAMMAD, M. *et al.* **Bioremediation techniques—classification, principles, advantages, limitations, and prospects.** In: Microbiome-Assisted Bioremediation. Academic Press, 2024. p. 1-23.

NOPARATNARAPORN, N. **Identification and cultivation of photosynthetic bacteria in wastewater from a concentrated latex processing factory.** Biotechnology Letters, v. 24, p. 1055-1058, n. 13, 2002.

NOPARATNARAPORN, N.; NAGAI, S. **Selection of Rhodopseudomonas sphaeroides P47 as a useful source of single cell protein.** Journal of General and Applied Microbiology, v. 32, n.4, p. 351-359, 1986.

NOPARATNARAPORN, N.; NISHIZAWA, Y.; HAYASHI, M.; NAGAI, S. **Single cell protein production from cassava starch by Rhodopseudomonas gelatinosa.** Journal of Fermentation Technology, v. 61, n.5, p. 515-519, 1983.

PONSANO, E.H.G. **Avaliação da capacidade pigmentante de biomassa de Rhodocyclus gelatinosus em frangos de corte.** 2000. 93f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2000.

PONSANO, E.H.G.; LACAVAL, P.M.; PINTO, M.F. **Chemical compositions of Rhodocyclus gelatinosus biomass produced in poultry slaughterhouse wastewater.** Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 46, n. 2, p. 143-147, 2003.

PRASERTSAN, P.; CHOORIT, W.; SUWANNO, S. **Optimization for growth of Rhodocyclus gelatinosus in seafood processing effluents.** World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 9, n. 5, p. 593-596, 1993.

PRASERTSAN, P.; JATURAPORNIPIPAT, M.; SIRIPATANA, C. **Utilization and treatment of tune condensate by photosyntetic bacteria.** Pure and Applied Chemistry, v. 69, n. 11, p. 2439-2445, 1997.

QIAN, Z. *et al.* **Sulfur source promotes the biosorption and bioprecipitation of Cd in purple non-sulfur bacteria.** International Biodeterioration & Biodegradation, v. 188, p. 105742, 2024.

SASAKI, K.; HAYASHI, M.; NAGAI, S. **Growth on propionate-acetate media of Rhodopseudomonas sphaeroides S and its vitamin B12 biosynthesis.** Journal of Fermentation Technology, v. 56, n. 3, p. 200-206, 1978.

SASAKI, K.; NOPARATNARAPORN, N.; HAYASHI, M.; NISHIZAWA, Y.; NAGAI, S. **Single cell protein production by treatment of soybean wastes with Rhodopseudomonas gelatinosa.** Journal of Fermentation Technology, v. 59, n. 6, p. 471-477, 1981.

SASAKI, K.; WATANABE, M.; SUDA, Y.; ISHIZUKA, A.; NOPARATNARAPORN, N. **Applications of Photosythetic Bacteria for Medical Fields.** Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 100, n. 5, p. 481-488, 2005.

STEIGER, S.; ASTIER, C.; SDMANN, G. **Substrate especificity of the expressed carotenoid 3,4-desaturase from Rubrivivax gelatinosus reveals the detailed reaction sequence to spheroidene and spirilloxanthin.** Biochemical Journal, v. 349, (Pt 2), p. 635-640, 2000.

SUN, Y. *et al.* **Removal of pollutants and accumulation of high-value cell inclusions in a batch reactor containing Rhodopseudomonas for treating real heavy oil refinery wastewater.** Journal of Environmental Management, v. 345, p. 118834, 2023.

SWAINSBURY, D. J. K. *et al.* **The structure and assembly of reaction centre-light-harvesting 1 complexes in photosynthetic bacteria.** Bioscience Reports, v. 43, n. 5, p. BSR20220089, 2023.

TRUPER, H. G.; IMHOFF, J. F. **The genera Rhodocyclos and Rubrivivax.** In: BALLOWS, A.; TRUPER, H. G.; DWORKIN, M.; HARDER, W.; SCHLEIFER, K. H. The procaryotes. 2.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1992. v.2, cap. 129, p. 2556-2561.

United State Geological Survey. USGS. Disponível em <<http://water.usgs.gov>> Acesso em set 2006.

VAZOLLER, R. F. **Microbiologia e saneamento ambiental.** Junho de 2004. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/publicações/padct/bio/cap9/3/rosana.html-89k>> Acesso em 13 jun 2004.

YURKOV, V. V.; BEATTY, J. T. **Aerobic Anoxygenic Phototrophic Bacteria.** Microbiology and Molecular Biology Reviews, v. 62, n. 3, p. 695-724, sept. 1998.

WHITMARSH, J.; GOVINDJEE. **Concepts in photobiology: photosynthesis and photomorphogenesis.** Disponível em: <<http://www.life.uiuc.edu/govindjee/paper/gov.html>> Acesso em 11 set 2006.

# Síntese, caracterização e avaliação do potencial antimicrobiano de nanopartículas de prata obtidas a partir da *Dipteryx odorata*

Yan Vitor Silva Oliveira

Arthur Abinader Vasconcelos

Maria Caroline Barbosa da Silva

Armélio Vasconcelos de Siqueira Neto

Paulo Sérgio Taube Júnior

## RESUMO

Desde a descoberta da penicilina em 1928, a pesquisa farmacêutica avançou na busca por novos antimicrobianos devido à resistência bacteriana. Plantas como o cumaru são promissoras, e a síntese de AgNPs demonstra potencial contra uma variedade de patógenos. Este estudo sintetizou AgNPs usando extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata*. As AgNPs foram caracterizadas por espectroscopia UV/Vis, espectroscopia de infravermelho e Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) e Potencial Zeta. Além disso o potencial antimicrobiano das AgNPs foi avaliado. Através de espectroscopia UV/Vis, observou-se a formação das AgNPs ao longo de 180 minutos, com aumento na absorbância na região de 450 nm. Análises por FTIR identificaram compostos fenólicos como possíveis estabilizadores das AgNPs. A caracterização adicional por DLS mostrou um tamanho hidrodinâmico médio das AgNPs de 144 nm, com um índice de polidispersidade (Pdl) de 0,21 e um potencial Zeta de -9,0 mV, indicando estabilidade e dispersão adequada das partículas em suspensão aquosa. Quanto à atividade antimicrobiana, as AgNPs demonstraram eficácia superior contra *Escherichia coli* em comparação com *Staphylococcus aureus*, com valores de MIC de 2,65 e 5,27  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectivamente, e valores de MBC que indicam alta eficácia na inibição e eliminação bacteriana. Este estudo contribui para o desenvolvimento de novas estratégias antimicrobianas baseadas em recursos naturais e síntese verde de nanomateriais, destacando o potencial das AgNPs como agentes antimicrobianos eficazes, com aplicações potenciais na indústria de alimentos, tratamento de água e outras áreas relevantes.

**Palavras-chaves:** cumaru; *Staphylococcus aureus*; *Escherichia coli*; Potencial Zeta; AgNPs.





## ABSTRACT

Since the discovery of penicillin in 1928, pharmaceutical research has advanced in search of new antimicrobials due to bacterial resistance. Plants like cumaru show promise, and AgNPs synthesis demonstrates potential against a variety of pathogens. This study synthesized AgNPs using ethanolic extract from *Dipteryx odorata* leaves. The AgNPs were characterized by UV/Vis spectroscopy, infrared spectroscopy, Dynamic Light Scattering (DLS), and Zeta Potential analysis. Antimicrobial potential of AgNPs was evaluated, showing their formation over 180 minutes with increased absorbance around 450 nm by UV/Vis spectroscopy. FTIR analysis identified phenolic compounds as potential stabilizers. DLS characterization revealed an average hydrodynamic size of 144 nm, a polydispersity index (PDI) of 0.21, and a Zeta Potential of -9.0 mV, indicating particle stability and adequate dispersion in aqueous suspension. Regarding antimicrobial activity, AgNPs exhibited superior efficacy against *Escherichia coli* compared to *Staphylococcus aureus*, with MIC values of 2.65 and 5.27  $\mu\text{g mL}^{-1}$ , respectively, and MBC values indicating high effectiveness in bacterial inhibition and elimination. This study contributes to the development of new antimicrobial strategies based on natural resources and green synthesis of nanomaterials, highlighting the potential of AgNPs as effective antimicrobial agents with applications in the food industry, water treatment, and other relevant areas.

**Keywords:** cumaru; *Staphylococcus aureus*; *Escherichia coli* Zeta Potential; AgNPs.

## INTRODUÇÃO

Desde o descobrimento da penicilina em 1928, a indústria farmacêutica tem realizado avanços significativos na pesquisa de novos medicamentos antimicrobianos, impulsionada pela resistência bacteriana aos antibióticos existentes (Guimarães *et al.*, 2010). Com o crescimento da população mundial e a busca por uma melhor qualidade de vida, o uso de produtos antioxidantes tem ganhado destaque, direcionando a atenção para plantas com potencial terapêutico (Sucupira *et al.*, 2015).

Uma dessas plantas é o cumaru (*Dipteryx odorata*) a qual as sementes são promissoras no combate à resistência bacteriana (Fernandes *et al.*, 2015). Tradicionalmente, o cumaru é usado como antiespasmódico e tônico, combatendo problemas pulmonares e gripes (Carvalho, 2009; Pesce, 2009). O óleo da semente também é utilizado para dores de ouvido e problemas de pele (Revilla, 2001; Carvalho, 2009). Na indústria farmacêutica, a cumarina do cumaru é utilizada na produção de anticoagulantes como dicumarol e varfarina, usados para prevenir trombozes (Araújo *et al.*, 2004; Carvalho, 2009).

Juntamente a utilização de produtos naturais para o combate a bactérias resistentes a síntese verde de nanopartículas, principalmente de prata (AgNPs) vem ganhando destaque (Hemlata *et al.*, 2020; Galúcio *et al.*, 2022). Estudos mostram suas atividades antimicrobianas contra bactérias, fungos e protozoários (Bardânia *et al.*, 2020; Nazer *et al.*, 2020; Panáček *et al.*, 2020). As nanopartículas de prata (NPsAg) são eficazes na prevenção de infecções e colonização bacteriana, com aplicação na indústria de alimentos, tratamento de água e fabricação de tintas antibacterianas.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo sintetizar e caracterizar AgNPs obtidas a partir do extrato etanólico das folhas da *D. odorata*. Além disso, avaliar o potencial antimicrobiano dessas AgNPs.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Metodologia

A pesquisa de campo, é caracterizada como experimental de cunho exploratório com abordagem quantitativa. Onde procura responder a questionamentos por algo moderno, onde apresenta uma vertente a respeito de algo que ainda não está determinado, além disso a pesquisa exploratória é à qual viabiliza mais informações sobre o tema, onde possibilita a formação de hipóteses.

Para o delineamento do estudo, será utilizado as folhas da espécie *Dipteryx odorata* para a preparação do extrato etanólico, partes da espécie foram armazenadas no herbário da Universidade Federal do Oeste do Pará. O projeto foi atenciosamente cadastrado no SISGEN.

### Área de Estudo

As amostras de folhas de cumaru foram obtidas durante o período chuvoso Amazônico, em março de 2022, durante a estação de floração, na comunidade Vila Nova em Santarém-PA (2°30'32" S, 54°49'38" W). Após a coleta, as amostras foram transportadas para o herbário da UFOPA, onde um botânico as identificou como *Dipteryx odorata*.

### Preparação do Extrato Etanólico das Folhas de *D. odorata* e Síntese Verde de AgNPs

O extrato etanólico das folhas de *D. odorata* foi preparado adicionando 150 g de folhas secas e trituradas a um frasco âmbar. Em seguida, adicionou-se etanol (96,9%, v/v) até atingir um volume total de 1,00 L. A mistura foi deixada em repouso por 7 dias. Após este período, o extrato final foi separado das partes sólidas por filtração, e a solução resultante foi armazenada em um frasco âmbar.

A síntese verde das AgNPs foi realizado utilizando 200  $\mu$ L de extrato etanólico de cumaru (0,15 g mL<sup>-1</sup>) e 9,80 mL de AgNO<sub>3</sub> 1,0 mmol L<sup>-1</sup>, resultando em um volume final de 10 mL expondo a solução a radiação solar durante 180 min.

### Caracterização das AgNPs

#### Espectroscopia UV/Vis

A formação de AgNPs foi analisada usando um espectrofotômetro (NOVA 3300, Brasil) em um comprimento de onda de 450 nm durante a síntese inicial e a cada 30 minutos ao longo de 180 minutos. Após a conclusão das reações, medições espectrofotométricas foram realizadas para todas as amostras e controles experimentais dentro de um intervalo



de 350-500 nm, com intervalos de 10 nm, para construir curvas de absorção e identificar as bandas de absorção máxima das AgNPs potencialmente formadas. Os dados adquiridos foram analisados usando o software Microsoft Excel, versão 2016.

### **Análise por Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

Os perfis de ligações/interações químicas dos grupos funcionais presentes na superfície das AgNPs foram analisados usando um espectrofotômetro de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu, IR Prestige), em modo de refletância total atenuada (ATR). Uma pequena quantidade da amostra de AgNPs (1 gota) foi depositada diretamente na placa de cristal de diamante ATR, que foi cuidadosamente limpa com clorofórmio para eliminar a presença de resíduos de óleo entre as concentrações e seca com gás nitrogênio após cada experimento para garantir uma superfície cristalina limpa e obter o melhor espectro possível da amostra. Quarenta e cinco varreduras foram realizadas no intervalo de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ .

### **Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS) e Potencial Zeta**

O instrumento Zetasizer Nano ZS (Malvern, Reino Unido) foi utilizado para medir o tamanho (diâmetro hidrodinâmico médio), índice de polidispersidade (PDI) e potencial Zeta da superfície (carga elétrica das partículas) no Laboratório de Nanobiotecnologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília (IB/UnB). Para as análises, alíquotas de 100  $\mu\text{L}$  de cada amostra de Ag-NPs foram diluídas em 900  $\mu\text{L}$  de água ultrapura e, em seguida, depositadas em uma cubeta de poliestireno contendo um eletrodo que foi inserido no dispositivo e submetido, após 120 segundos de estabilização, a 10 execuções triplicadas com um ângulo de dispersão de  $173^\circ$  e uma temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Os resultados consistem no valor médio das três replicatas  $\pm$  desvio padrão da média.

### **Concentração Inibitória Mínima (MIC) e Concentração Bactericida Mínima (MBC) de AgNPs**

A determinação da Concentração Inibitória Mínima (MIC) e da Concentração Bactericida Mínima (MBC) das AgNPs foi realizada em triplicata por ensaios de microdiluição em microplacas de 96 poços (Corning®), seguindo a padronização do Clinical Laboratory Standard Institute (CLSI, 2015) contra *Escherichia coli* (ATCC 25922) e *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) no Departamento de Microbiologia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), em Londrina/PR, Brasil.

As bactérias foram cultivadas em Agar Muller-Hinton (MH) (Difco®), com incubação a  $37^\circ\text{C}$  por 24 horas. Posteriormente, 2 a 5 colônias bacterianas foram coletadas das placas e colocadas em solução salina (0,85% NaCl) até atingirem uma turbidez de 0,5 na escala de McFarland ou  $1,5 \times 10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$ .

A microdiluição em caldo consistiu na adição de 50  $\mu\text{L}$  de MH aos poços de uma microplaca de 96 poços, seguida pela adição de 50  $\mu\text{L}$  de cada amostra ao primeiro poço da placa, totalizando 100  $\mu\text{L}$ . Em seguida, 50  $\mu\text{L}$  dessa solução foi transferida para o próximo poço, e assim por diante, resultando em uma diluição seriada com sete faixas de diluição tanto para AgNPs quanto para  $\text{AgNO}_3$  ( $42,5 - 0,33 \mu\text{g mL}^{-1}$ ). A solução salina contendo

bactérias foi diluída para uma concentração de  $1,5 \times 10^{-6}$  UFC mL<sup>-1</sup> em MH. 50 µL dessa solução bacteriana foi adicionada a cada poço, completando o volume das amostras em cada poço.

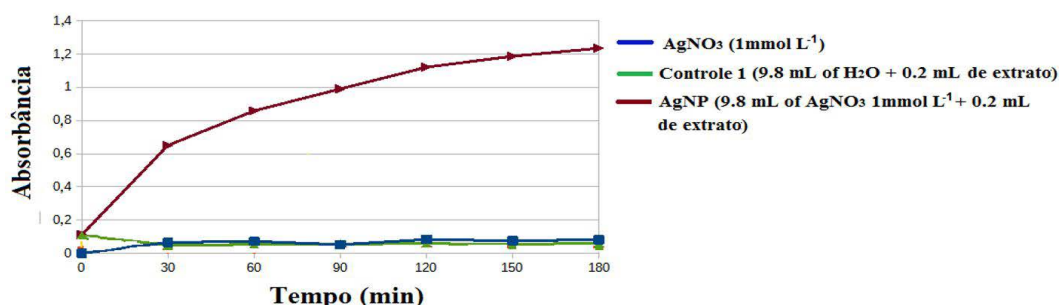
As placas foram incubadas a 37°C por 18 a 24 horas, e então as leituras foram avaliadas visualmente com base na turbidez do meio de cultura, onde a ausência de turbidez indicava inibição do crescimento microbiano. Todos os testes foram realizados em triplicata para cada concentração, com controle positivo (apenas bactérias) e controle negativo (apenas meio de cultura). Além disso, a determinação do MBC foi realizada, considerando MBC como a concentração onde a morte bacteriana foi  $\geq 99,9\%$  após 24 horas de tratamento. MIC corresponde à menor concentração de AgNPs onde não foi observado crescimento bacteriano visível (turbidez).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das AgNPs

As curvas cinéticas da síntese de AgNPs a partir do extrato etanólico das folhas de *D. odorata* e seus respectivos controles experimentais, avaliando a absorvância por espectroscopia UV/Vis em um comprimento de onda de 450 nm ao longo de 180 minutos, estão mostradas na figura 1.

**Figura 1 - Curvas cinéticas monitorando as reações de síntese de AgNPs a partir do extrato etanólico das folhas de *D. odorata* e seus controles ao longo de 180 minutos a 450 nm.**



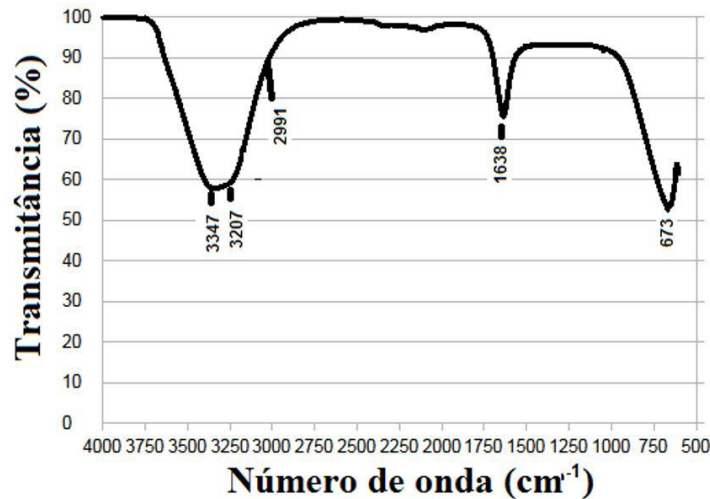
Fonte: De autoria própria, s. d.

Ao longo do tempo, foi observado um aumento na absorvância pelos AgNPs sintetizados, sem uma tendência à estabilização das linhas de absorvância, o que não foi observado para os controles (1 mmol L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub> e extrato etanólico). Nesse sentido, é possível inferir que o processo de redução de íons Ag<sup>+</sup> para Ag<sup>0</sup> (prata coloidal) está ocorrendo concomitantemente com a fase de crescimento das AgNPs.

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier foi realizada para identificar grupos funcionais provavelmente envolvidos na síntese de AgNPs. Os espectros de FTIR das AgNPs exibiram bandas de absorção entre 3207 e 3347 cm<sup>-1</sup> (relacionadas ao estiramento O-H/N-H de compostos fenólicos), 2991 cm (relacionada ao estiramento C-H de grupos metileno ou alifáticos), 1638 cm<sup>-1</sup> (relacionada ao estiramento de grupos carbonila (C=O) em anéis aromáticos, mas que também podem corresponder a aminas aromáticas (N-H) e ligações duplas carbono-carbono (C=C) em compostos aromáticos),

e indicam a formação de AgNPs, onde a oxidação de grupos poliol para grupos carbonila insaturados resulta em uma banda que aparece em torno de 1640  $\text{cm}^{-1}$  devido à redução de íons  $\text{Ag}^+$  (Singh *et al.*, 2015). Além disso, o pico em 673  $\text{cm}^{-1}$  indicou a curvatura fora do plano das ligações C-H em um anel aromático (figura 2).

**Figura 2 - Espectro FTIR de AgNPs sintetizados a partir do extrato etanólico de folhas de *D. odorata*.**



Fonte: De autoria própria, s. d.

Os flavonóides são reconhecidos como os principais agentes de redução biológica encontrados em extratos vegetais. Esta característica está diretamente ligada à sua capacidade de doar elétrons reativos ou átomos de hidrogênio durante processos como a conversão ceto-enol de certas moléculas desta classe. Além disso, podem oxidar grupos hidroxila em grupos carbonila, contribuindo para sua atividade redutora (Ghoreishi *et al.*, 2011; Ahmad *et al.*, 2019).

A técnica DLS (dispersão dinâmica de luz) foi empregada para avaliar diferenças de tamanho de partículas em meio aquoso, e o potencial Zeta foi utilizado para analisar sua carga superficial no meio em cada uma das sínteses, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Diâmetro hidrodinâmico, índice de polidispersidade e potencial Zeta de AgNPs sintetizados.**

Amostra	Diâmetro hidrodinâmico (DH) (nm)	Índice de polidispersividade (Pdl)	Potencial Zeta (mV)
AgNPs	144 ± 1	0,21 ± 0,03	-9,0 ± 1,0

Fonte: De autoria própria, s. d.

A análise DLS das AgNPs sintetizadas revelou um tamanho hidrodinâmico médio foi de 144 nm e valores de PDI de 0,21. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Asong *et al.* (2023) ao sintetizar AgNPs a partir do extrato foliar de *Cullen tomentosum* (DH de 145 nm e valor de Pdl de 0,24). Quando os valores de Pdl estão abaixo de 0,3, as amostras são consideradas aceitáveis para administração como medicamento e sugerem que a suspensão é homogênea (Asong *et al.*, 2023).

O potencial zeta indica a carga superficial das partículas em suspensão. Os dados do potencial zeta de superfície das AgNPs sintetizadas indicaram que todas as partículas estavam carregadas negativamente em meio aquoso, com valor de -9,06 mV. Esta medição

é feita pela presença de grupos ionizáveis ou adsorvidos na superfície das partículas e correlaciona-se com a repulsão eletrostática entre as diferentes cargas presentes no sistema e consequente estabilidade (Ghaffari-Moghaddam *et al.*, 2014). De acordo com Gengan *et al.* (2013), um potencial Zeta superior a  $\pm 30$  mV indica um sistema estável. Porém, quanto mais próximo o potencial Zeta estiver de 0 mV, maior será a chance de aglomeração de partículas (Hanaor *et al.*, 2012).

## Concentração Inibitória Mínima (MIC) e Concentração Bactericida Mínima (MBC) de AgNPs

As AgNPs apresentaram melhores atividades antibacterianas contra *Escherichia coli* (Gram-negativas) em comparação com *Staphylococcus aureus* (Gram-positivas). As AgNPs exibiram valores de CIM e MBC de  $2,65 \mu\text{g mL}^{-1}$  contra *Escherichia coli* e em relação ao *Staphylococcus aureus* CIM de  $5,27 \mu\text{g mL}^{-1}$  e o CBM de  $21,25 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Nossos resultados foram mais satisfatórios do que aqueles relatados em um estudo recente onde AgNPs biogênicas sintetizadas por rotas utilizando banho-maria e luz solar e explorando o extrato de folhas de *Paullinia cupana*, outra planta ocorrente na Amazônia, apresentaram MIC entre  $5,31$  e  $21,25 \mu\text{g mL}^{-1}$  para *Escherichia coli* e entre  $10,62$  e  $21,25 \mu\text{g mL}^{-1}$  para *Staphylococcus aureus* (Lima *et al.*, 2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese de AgNPs a partir do extrato etanólico de folhas de *D. odorata* mostrou-se promissora, uma vez que ocorreu a redução de íons  $\text{Ag}^+$  e formação de partículas estáveis com propriedades físico-químicas bem definidas.

Além disso, as AgNPs mostraram significativa atividade antibacteriana, com concentrações inibitórias mínimas (MIC) de  $2,65 \mu\text{g mL}^{-1}$  contra *Escherichia coli* e  $5,27 \mu\text{g mL}^{-1}$  contra *Staphylococcus aureus*. Esses resultados indicam potencial aplicação das AgNPs sintetizadas como agentes antimicrobianos eficazes.

## REFERÊNCIAS

- Ahmad, T., Bustam, M. A., Irfan, M., Moniruzzaman, M., Asghar, H. M. A., & Bhattacharjee, S. (2019). Mechanistic investigation of phytochemicals involved in green synthesis of gold nanoparticles using aqueous *Elaeis guineensis* leaves extract: Role of phenolic compounds and flavonoids. *Biotechnology and applied biochemistry*, 66(4):698-708.
- Araújo, V. F. D., Echeverria, R. M., & Pastore Jr, F. (2004). Sistema de extração de sementes de Cumaru. Projeto ITTO—Organização Internacional de Madeiras Tropicais—PD31/99 Rev, 3.
- Asong, J. A., Frimpong, E. K., Seepe, H. A., Katata-Seru, L., Amoo, S. O., & Aremu, A. O. (2023). Green Synthesis of Characterized Silver Nanoparticle Using *Cullen tomentosum* and Assessment of Its Antibacterial Activity. *Antibiotics*, 12(2):203.
- Bardânia, H., Mahmoudi, R., Bagheri, H., Salehpour, Z., Fouani, M. H., Darabian, B., ... & Akrami, M. (2020). Facile preparation of a novel biogenic silver-loaded Nanofilm with intrinsic anti-bacterial and oxidant scavenging activities for wound healing. *Scientific reports*, 10(1), 6129.

Carvalho, P. E. R. (2009). Cumaru-Ferro-Dipteryx odorata.

Fernandes, A. W. C., Aquino, S. Á., Gouveia, G. V., Almeida, J. R. G. S., & Costa, M. M. (2015). Atividade antimicrobiana in vitro de extratos de plantas do bioma caatinga em isolados de Escherichia coli de suínos. Revista brasileira de plantas medicinais, 17, 1097-1102.

Gengan RM, Anand K, Phulukdaree A, Chuturgoon A (2013) A549 lung cell line activity of biosynthesized silver nanoparticles using Albizia adianthifolia leaf. Colloids Surf B 105:87–91.

Ghaffari-Moghaddam M, Hadi-Dabanlou R, Khajeh M, Rakhshanipour M, Shameli K (2014) Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts. Korean J Chem Eng 31:548–557.

Galúcio, J. M., de Souza, S. G. B., Vasconcelos, A. A., Lima, A. K. O., da Costa, K. S., de Campos Braga, H., & Taube, P. S. (2022). Synthesis, characterization, applications, and toxicity of green synthesized nanoparticles. Current Pharmaceutical Biotechnology, 23(3), 420-443.

Guimarães, D. O., Momesso, L. D. S., & Pupo, M. T. (2010). Antibióticos: importância terapêutica e perspectivas para a descoberta e desenvolvimento de novos agentes. Química nova, 33, 667-679.

Ghoreishi, S. M., Behpour, M., & Khayatkashani, M. (2011). Green synthesis of silver and gold nanoparticles using Rosa damascena and its primary application in electrochemistry. Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 44(1):97-104.

Hanaor D, Michelazzi M, Leonelli C, Sorrell CC (2012) The effects of carboxylic acids on the aqueous dispersion and electrophoretic deposition of ZrO<sub>2</sub>. J Eur Ceram Soc 32(1):235–244.

Hemlata, Meena, P. R., Singh, A. P., & Tejavath, K. K. (2020). Biosynthesis of silver nanoparticles using Cucumis prophetarum aqueous leaf extract and their antibacterial and antiproliferative activity against cancer cell lines. ACS omega, 5(10), 5520-5528.

Lima, A. K. O., Silveira, A. P., Silva, R. C., Machado, Y. A. A., de Araújo, A. R., de Mendonça Araujo, S. S., ... & Garcia, M. P. (2024). Phytosynthesis of silver nanoparticles using guarana (Paullinia cupana Kunth) leaf extract employing different routes: characterization and investigation of in vitro bioactivities. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-17.

Nazer, S., Andleeb, S., Ali, S., Gulzar, N., Iqbal, T., Khan, M. A., & Raza, A. (2020). Synergistic antibacterial efficacy of biogenic synthesized silver nanoparticles using Ajuga bractosa with standard antibiotics: a study against bacterial pathogens. Current pharmaceutical biotechnology, 21(3), 206-218.

Panáček, A., Kolář, M., Večeřová, R., Pucek, R., Soukupová, J., Kryštof, V., ... & Kvítek, L. (2009). Antifungal activity of silver nanoparticles against Candida spp. Biomaterials, 30(31), 6333-6340.

Pesce, C. (2009). Oleaginosas da amazônia. MCT/MPEG.

Revilla, J. (2001). Plantas da Amazônia: oportunidades econômicas e sustentáveis. Sebrae.

Sucupira, N. R., da Silva, A. B., Pereira, G., & da Costa, J. N. (2012). Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. Journal of Health Sciences, 14(4).

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, número de bolsa: 88881.691838/2022-01 e número de bolsa: 88881.707398/2022-01). Agradecemos também à Universidade de Brasília (UnB), à Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) pelas instalações de laboratório e campo.



# O impacto da educação na conservação da biodiversidade: como o conhecimento e a compreensão podem moldar as perspectivas e atitudes dos estudantes em relação aos serviços ecossistêmicos?

Lucas Gabriel Ferreira da Silva Carvalho

*Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI. Licenciatura em Ciências Biológicas (FLC3694BID) – Projeto de Ensino (FSA111). Acadêmico do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas*

## RESUMO

O trabalho acadêmico em questão é uma revisão da literatura que tem como objetivo discutir o impacto da educação na conservação da biodiversidade e como o conhecimento e a compreensão podem moldar as perspectivas e atitudes dos estudantes em relação aos serviços ecossistêmicos. Foram selecionados 12 artigos do banco de dados CAPES para a discussão. As metodologias utilizadas foram a revisão bibliográfica e análise crítica dos artigos selecionados. Os resultados apontaram para a importância da educação ambiental na escola como instrumento para a conscientização ecológica e o desenvolvimento de atitudes pró-ambientais, além de destacar a necessidade de considerar as visões locais e práticas culturais na conservação da biodiversidade. Foi evidenciado também que é fundamental compreender a relação entre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos para que os estudantes tomem decisões conscientes em suas vidas cotidianas. As considerações finais destacam a importância de abordar a educação ambiental de forma transversal em todas as disciplinas, principalmente na escola básica, onde são construídas as bases para a formação de cidadãos conscientes e responsáveis. É necessário capacitar os professores para lidar com a temática de maneira efetiva e buscar novas formas de engajar e sensibilizar os alunos em relação à conservação da biodiversidade, que é fundamental para o equilíbrio do planeta.

**Palavras-chave:** biodiversidade; serviços ecossistêmicos; educação ambiental.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo está passando por diversas transformações, muitas delas causadas pelas ações humanas, que têm gerado impactos



significativos no ecossistema. Os principais desafios enfrentados pela sociedade atualmente são as mudanças climáticas, a poluição, o crescimento desenfreado da população, o uso excessivo de recursos naturais e a perda de habitats naturais. É fundamental entender melhor essas transformações para evitar efeitos negativos ainda mais graves, que poderiam ser catastróficos, ameaçando a sobrevivência e o uso sustentável dos recursos naturais pelas gerações presentes e futuras, além de comprometer a continuidade dos serviços ecossistêmicos (IPBES, 2019).

Os serviços ambientais ou ecossistêmicos referem-se aos benefícios palpáveis (alimentos e madeira, por exemplo) e não-palpáveis (beleza cênica e regulação do clima, por exemplo) obtidos pelo homem através das dinâmicas e complexas interações entre os diversos componentes da biodiversidade (Barcellos, 2009).

Em 2005, a ONU criou uma classificação para os serviços ambientais, a partir da Avaliação Ecossistêmica do Milênio. Essa classificação se divide em quatro categorias principais. A primeira delas é a de serviços de provisão, que engloba iniciativas que favorecem a preservação e manutenção dos produtos obtidos dos ecossistemas, como alimentos, água, fibras e madeira. Já a segunda categoria é a de serviços de regulação, que gera benefícios a partir de processos naturais que regulam as condições ambientais, como absorção de CO<sub>2</sub>, controle do clima, polinização de plantas, controle de doenças e pragas. A terceira categoria é a de serviços culturais, que geram benefícios intangíveis de natureza recreativa, educacional, religiosa ou estético-paisagística. Por fim, a categoria de serviços de suporte é composta por iniciativas que contribuem para a produção de outros serviços ecossistêmicos, como ciclagem de nutrientes, formação do solo e dispersão de sementes (OECD, 2014).

Conforme a população humana cresce, aumenta a demanda por recursos provenientes dos ecossistemas para sustentar as atividades humanas. Cada vez mais pessoas concentram-se em áreas urbanas, o que tem resultado em um rápido e desordenado crescimento dessas cidades e conseqüentes alterações ambientais. Essa expansão desordenada gera a necessidade de adaptação das cidades, incluindo a construção de casas e prédios, além do surgimento de favelas em áreas urbanas sem fiscalização adequada por parte de profissionais capacitados (IPCC, 2014).

Segundo Jacobi (2003), a preocupação com programas ambientais que promovam o desenvolvimento sustentável é uma forma de garantir mudanças políticas e, principalmente, sociais. Porém, é essencial lembrar que o meio ambiente é composto não somente por plantas e animais, mas sim por uma complexa interação entre todos os elementos bióticos e abióticos, e que o ser humano, apesar de muitas vezes esquecer, também é parte integrante desse ambiente (Scardua, 2009). Ao perceber que também faz parte da natureza, o ser humano passa a sensibilizar-se com os problemas ambientais, preocupando-se em cuidar, preservar e manter os recursos naturais.

Nesse contexto, a participação das comunidades locais torna-se uma das formas mais promissoras de proteger as unidades de conservação. Muitas pessoas não têm o hábito de se envolver, não percebem seu direito de reivindicar e, ainda menos, seu potencial transformador. Por isso, a educação é uma forma singular de abrir caminhos que podem beneficiar tanto a realidade social quanto a ambiental. O conhecimento deve ser transmitido



aos cidadãos para abranger as relações entre o meio ambiente e o social, incluindo o uso do solo, da água e do ar para torná-lo sustentável. A educação ambiental é uma forma de comunicação que consegue sensibilizar e motivar as pessoas a mudar seu comportamento e ações que prejudicam o meio ambiente (Leff, 2005).

Sendo assim, o presente trabalho tem por finalidade frisar o papel da Educação Ambiental dentro das escolas, como meio de difundir e transmitir conhecimentos para educar os estudantes, através de conscientização, promovendo uma mudança no comportamento que seja saudável para as gerações futuras, e assim, atingir o desenvolvimento sustentável, dado que a formação da consciência não é um processo instantâneo, mas sim uma renovação contínua impulsionada pelo conhecimento adquirido. À medida que o indivíduo lê, estuda e observa, novas perspectivas vão sendo geradas, permitindo a criação de uma nova visão sistêmica do processo de aprendizagem. Esse processo gradual induz a mente a adotar atitudes corretas e benéficas, conforme o indivíduo se torna mais consciente e informado.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Breve Histórico da Educação Ambiental no Brasil

A origem da Educação Ambiental no Brasil foi inspirada pelo movimento ambientalista, que consolidou as lutas no final da década de 1960 e início da década de 1970, com o surgimento do movimento ambientalista e a crescente preocupação com os problemas ambientais no país e no mundo. Entre as principais bandeiras desse movimento, estavam as críticas intensas ao modo de vida das sociedades industriais, denunciando os riscos e impactos ambientais decorrentes da ampliação da demanda de matérias-primas e do consumo excessivo e desenfreado. Na época, foram criados diversos grupos de defesa do meio ambiente que promoviam ações de conscientização da população e de denúncia de violações ambientais (Brasil, 2005).

Em 1981, foi criada a Política Nacional de Meio Ambiente, que estabeleceu a necessidade de inclusão da Educação Ambiental em todos os níveis de ensino, incluindo a educação da comunidade. Em 1988, a Constituição Federal reforçou essa tendência ao estabelecer a promoção da Educação Ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente (Sobral, 2018).

Na década de 1990, houve uma maior institucionalização da Educação Ambiental no país. Em 1991, a Comissão Interministerial para a preparação da Rio 92 considerou a Educação Ambiental como um dos instrumentos da política ambiental brasileira. Durante a Rio 92, foi produzida a Carta Brasileira para Educação Ambiental, que reconheceu a Educação Ambiental como um dos instrumentos mais importantes para viabilizar a sustentabilidade como estratégia de sobrevivência do planeta e para a melhoria da qualidade de vida humana (Ministério da Educação, 2007).

Em 1994, foi criado o Programa Nacional de Educação Ambiental (ProNEA), executado pelo MEC e pelo MMA/Ibama, responsáveis pelas ações voltadas respectivamente ao sistema de ensino e à gestão ambiental. Em 1999, foi aprovada a Lei nº 9.795, que dispõe

sobre a Política Nacional de Educação Ambiental, com a criação da Coordenação-Geral de Educação Ambiental (CGEA) no MEC e da Diretoria de Educação Ambiental (DEA) no MMA (PRONEA, 2012).

Desde então, a Educação Ambiental tem se fortalecido no país, com a criação de diversos programas, projetos e ações educativas voltadas à conscientização da população para a importância da preservação do meio ambiente e da promoção do desenvolvimento sustentável.

## **Definições de Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Educação Ambiental**

A biodiversidade é a variedade de seres vivos existentes em um determinado ecossistema ou região geográfica. Essa diversidade pode ser encontrada em diferentes formas, incluindo a diversidade de espécies, de genes e de ecossistemas. A biodiversidade é fundamental para a manutenção da vida na Terra, pois é responsável por fornecer serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do clima, a produção de alimentos, a purificação do ar e da água, entre outros (Borgo, 2020).

Os serviços ecossistêmicos são os benefícios que a humanidade obtém a partir da biodiversidade e dos ecossistemas. Eles incluem serviços de provisão, como a produção de alimentos, água e madeira, serviços regulatórios, como a regulação do clima e da qualidade do ar e da água, serviços culturais, como o valor estético, educacional e recreativo da natureza, e serviços de suporte, como a formação do solo e a ciclagem de nutrientes (Embrapa, 2017).

A educação ambiental é uma abordagem educacional que tem como objetivo desenvolver uma consciência crítica sobre as questões ambientais, bem como promover a compreensão e a participação ativa da sociedade na preservação e na gestão ambiental. A educação ambiental pode ser desenvolvida em diferentes contextos, incluindo escolas, universidades, organizações não governamentais e outras instituições (Hansen, 2018).

A relação entre biodiversidade, serviços ecossistêmicos e educação ambiental é muito importante, pois a preservação da biodiversidade e a gestão dos ecossistemas dependem do conhecimento e da participação ativa da sociedade. A educação ambiental é uma ferramenta fundamental para desenvolver essa compreensão crítica e para promover ações concretas em prol da conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Além disso, a educação ambiental pode ajudar a mudar a visão e atitudes dos educandos em relação ao meio ambiente e aos serviços ecossistêmicos, estimulando práticas sustentáveis e responsáveis (Eckel, 2007).

## **Interligação entre Educação Ambiental e a Preservação da Biodiversidade**

A relação entre a educação ambiental e a conservação da biodiversidade é muito estreita. A biodiversidade é a variedade de vida em todas as suas formas, desde as plantas e animais até os ecossistemas e seus processos. Ela é essencial para a manutenção dos serviços ecossistêmicos que sustentam a vida no planeta, como a purificação da água, a regulação do clima, a polinização das plantas e a produção de alimentos (Fiotec; Fiocruz, 2021).

A educação ambiental, por sua vez, é um processo educativo permanente que busca desenvolver uma consciência crítica sobre os problemas ambientais e as formas de solucioná-los. Ela envolve a disseminação de conhecimentos, valores, habilidades e atitudes que permitam aos indivíduos e às comunidades agir de forma mais sustentável e responsável em relação ao meio ambiente (Silva, 2018).

Dessa forma, a educação ambiental é fundamental para a conservação da biodiversidade, pois permite que as pessoas compreendam a importância da diversidade biológica e dos serviços ecossistêmicos para a vida no planeta. Além disso, ela ajuda a sensibilizar as pessoas sobre as ameaças à biodiversidade, como a degradação dos habitats naturais, a poluição, as espécies invasoras e a mudança climática (Ministério da Educação, 2007).

Com a educação ambiental, as pessoas podem adquirir conhecimentos sobre as espécies e ecossistemas locais, aprender sobre práticas sustentáveis de manejo dos recursos naturais e conhecer as leis e políticas ambientais que visam proteger a biodiversidade. Isso pode ajudar a aumentar o engajamento e a participação das pessoas na conservação da biodiversidade, contribuindo para a criação de uma cultura de preservação e cuidado com o meio ambiente (Oliveira, 2007).

Assim, a relação entre a educação ambiental e a conservação da biodiversidade é essencial para garantir a sobrevivência e o bem-estar das espécies e ecossistemas do planeta, bem como para assegurar a qualidade de vida das populações humanas que dependem desses recursos naturais.

## **Preservação da Biodiversidade no Contexto Escolar**

A preservação da biodiversidade é um tema extremamente importante e deve ser abordado desde cedo no contexto escolar. A escola é um ambiente propício para a conscientização e sensibilização dos alunos acerca da importância da biodiversidade para a manutenção da vida no planeta (Falcão, 2020).

Para promover a preservação da biodiversidade, é necessário que os alunos compreendam o papel que cada ser vivo desempenha em um ecossistema e como a perda de uma espécie pode afetar todo o equilíbrio ecológico. É fundamental que os alunos aprendam sobre os diferentes biomas presentes no Brasil e no mundo, bem como suas características e importância para a manutenção da biodiversidade (Falcão, 2020).

As atividades de educação ambiental no contexto escolar podem incluir a realização de trilhas ecológicas, visitas a parques e reservas naturais, aulas em laboratórios para observação de diferentes espécies, palestras com especialistas e projetos de pesquisa e conservação da biodiversidade (Silva, 2020).

Além disso, é importante que a escola esteja engajada em práticas sustentáveis, como a separação e reciclagem do lixo, economia de água e energia elétrica, uso de materiais sustentáveis e a criação de espaços verdes para estimular a presença de fauna e flora local. Dessa forma, a escola pode contribuir significativamente para a preservação da biodiversidade, formando cidadãos conscientes e comprometidos com a sustentabilidade do planeta. A educação ambiental é um processo contínuo e deve ser estimulada desde

cedo para garantir um futuro mais saudável e sustentável para as próximas gerações (Oliveira, 2017).

## **MATERIAIS E MÉTODOS/METODOLOGIA**

Este estudo é uma revisão bibliográfica baseada na pesquisa de artigos científicos. De acordo com Rother (2007), esse tipo de metodologia consiste em utilizar fontes de informações bibliográficas ou eletrônicas para coletar resultados de pesquisas realizadas por outros autores, a fim de embasar teoricamente um determinado objetivo.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados da CAPES, utilizando as palavras-chave “educação ambiental na escola”, “conservação da biodiversidade”, “impacto”, “visões locais” e “serviços ecossistêmicos”. Foram incluídos artigos publicados entre os anos de 2002 e 2022, que abordavam o impacto da educação na conservação da biodiversidade, em diferentes contextos geográficos e culturais. Foram excluídos estudos que não estavam disponíveis em texto completo, que não abordavam o tema principal do trabalho ou que não tinham qualidade metodológica adequada.

Os artigos foram selecionados com base em critérios pré-definidos, como relevância para o tema, qualidade metodológica e adequação aos objetivos do trabalho. Durante a busca realizada, foram encontrados no período de 2002-2022, um total de 57,773 resultados e com base nessa ação, foi criada uma lista de artigos para serem incluídos no estudo.

É comum em pesquisas acadêmicas a utilização de um grande número de artigos e fontes para embasar a argumentação e conclusões apresentadas. Nesta pesquisa, foram utilizados apenas 12 artigos para revisão. A escolha de um número limitado de fontes é justificada pela necessidade de otimizar o tempo disponível e produzir um trabalho de qualidade dentro dos prazos estabelecidos, pois a mesma foi desenvolvida no período de apenas um semestre letivo.

Os artigos foram analisados de forma qualitativa, com agrupamento dos estudos por similaridade de temas e metodologias utilizadas. Foram identificadas as principais conclusões e tendências da literatura, destacando-se os principais impactos da educação na conservação da biodiversidade e a influência na formação de visões e atitudes locais em relação aos serviços ecossistêmicos. Como limitação da revisão, destaca-se a possibilidade de vieses de seleção, de publicação ou de interpretação dos resultados, bem como a não inclusão de artigos em outras línguas que não o português.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir da pesquisa realizada no banco de dados da CAPES, foi possível observar que existe uma ampla produção científica relacionada à temática da educação ambiental e conservação da biodiversidade. A maioria dos artigos encontrados enfatiza a importância da educação ambiental como instrumento para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas, bem como para a promoção do desenvolvimento sustentável.

Muitos dos artigos destacam a necessidade de considerar as visões locais e as práticas culturais como elementos fundamentais para a conservação da biodiversidade, visto que essas visões e práticas podem contribuir para a identificação de estratégias mais eficazes de conservação. As referências que foram utilizadas para discussão desse trabalho estão listadas no quadro 1 e foram organizadas cronologicamente.

**Quadro 1 - Artigos que abordam a educação ambiental e conservação da biodiversidade.**

Ano	Título	Autores
2005	O conceito de biodiversidade e a história da biologia da conservação: da preservação da <i>wilderness</i> à conservação da biodiversidade.	FRANCO, José Luiz de Andrade.
2011	Educação ambiental na escola e a influência da mídia.	UHMANN, Rosângela Inês Matos; VORPAGEL, Fernanda Seidel.
2013	Educação ambiental na escola: promovendo e valorizando o sujeito e o ambiente.	SILVA, Lilian Natani Rosa da; CALIXTO, Patrícia Mendes.
2013	A formação da cidadania ecológica articulada à Educação Ambiental na escola.	COSTA, Francisco Wendell Dias; AGUIAR, Patrícia Rosa.
2015	Educação Ambiental na escola pública: análise a partir da Pedagogia Histórico-Crítica.	ZUCCHINI, Lilian Giacomini Cruz.
2017	Formação de professores e educação ambiental na escola pública: contribuições da pedagogia histórico-crítica.	MAIA, Jorge Sobral da Silva; TEIXEIRA, Lucas André.
2018	Consumo consciente por meio da educação ambiental na escola.	AMARAL, Leandra de Lourdes Rezende; ARANTES, Gabriel Gonçalves; BERNARDES, Maria Beatriz Junqueira.
2018	Educação ambiental na escola básica: reflexões sobre a prática dos professores.	TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos.
2018	Concepção da Educação Ambiental Na Escola Pública, Em Atalaia do Norte-AM.	PINTO, Bárbara Gabriela Lima <i>et al.</i>
2019	A educação ambiental na escola básica: diretrizes para a divulgação dos conhecimentos científicos.	REIS, Marília Freitas de Campos Tozoni <i>et al.</i>
2019	Educação ambiental na escola pública: pesquisa-ação colaborativa para uma formação crítico-reflexiva.	MATTOS, Ariane Barilli de; GEBRAN, Raimunda Abou.
2020	Dinâmicas locais de apoio e resistência à conservação da biodiversidade: uma perspectiva das representações sociais.	MOURO, Carla; CASTRO, Paula.

**Fonte: Elaborado pelo autor.**

A conservação da biodiversidade é um tema de grande importância para a sustentabilidade do planeta, e a escola e o professor têm um papel fundamental na formação de cidadãos conscientes e responsáveis em relação a esse assunto. Os artigos selecionados abordam a importância da educação ambiental na escola, os desafios enfrentados pelos professores e alunos nesse processo, e a relação entre as dinâmicas locais e a conservação da biodiversidade.

O artigo de Franco (2005) destaca a importância do conceito de biodiversidade na história da biologia da conservação, e como a preservação da *wilderness* deu lugar à conservação da biodiversidade. Isso indica que a conservação da biodiversidade deve ser vista não apenas como a preservação de áreas intocadas, mas como uma questão mais ampla, que envolve a relação do ser humano com a natureza. Nesse contexto, a escola e o professor têm um papel importante em conscientizar os alunos sobre essa relação e na formação de uma consciência crítica em relação à conservação da biodiversidade.

Os artigos de Uhman e Vorpapel (2011), Silva e Calixto (2013), Zucchini (2015), Maia e Teixeira (2017), Amaral, Arantes e Bernardes (2018), Tozoni-Reis (2018), Reis *et al.* (2019) e Mattos e Gebran (2019) destacam a importância da educação ambiental na escola, e como ela pode ser trabalhada de forma a promover a conscientização e a valorização do ambiente e do sujeito. No entanto, esses artigos também apontam para os desafios enfrentados pelos professores nesse processo, como a falta de formação específica na área, a falta de recursos e materiais adequados, a falta de tempo para trabalhar o tema em sala de aula, entre outros.

Um dos desafios mais importantes é o de moldar as perspectivas e atitudes dos alunos em relação aos serviços ecossistêmicos e conservação da biodiversidade. Nesse sentido, o artigo de Mouros e Castro (2020) destaca a importância das dinâmicas locais de apoio e resistência à conservação da biodiversidade, e como as representações sociais influenciam a percepção dos indivíduos em relação a esse tema. Esse aspecto deve ser levado em conta pelos professores ao trabalhar a educação ambiental em sala de aula, pois pode influenciar diretamente na forma como os alunos compreendem e se relacionam com o meio ambiente.

As referências acima trazem à tona a importância da educação na conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. A biodiversidade é um recurso vital para a humanidade, fornecendo serviços essenciais para a sobrevivência e bem-estar humano, como a produção de alimentos, medicamentos, materiais de construção e recursos hídricos. No entanto, a biodiversidade global está em declínio devido a fatores como a perda de habitat, mudanças climáticas e exploração excessiva.

Para combater a perda de biodiversidade e garantir a conservação dos ecossistemas, é fundamental que os estudantes tenham uma compreensão clara do valor da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. A educação ambiental é uma ferramenta importante para promover a conscientização ecológica e o desenvolvimento de atitudes pró-ambientais. Além disso, a educação também pode moldar as perspectivas e atitudes dos estudantes em relação aos serviços ecossistêmicos. Ao aprender sobre a interdependência dos ecossistemas e os impactos negativos da atividade humana na natureza, os estudantes podem desenvolver uma apreciação mais profunda pela natureza e reconhecer a importância da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos para a sobrevivência humana.

Compreender a relação entre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos pode levar os estudantes a tomar decisões mais conscientes em suas vidas cotidianas, como reduzir o consumo de recursos naturais, promover práticas de conservação de energia e adotar um estilo de vida mais sustentável. Essas mudanças de comportamento individuais podem ter um impacto significativo na conservação da biodiversidade e na preservação dos serviços ecossistêmicos. Ademais, a educação ambiental também pode incentivar os estudantes a se envolverem em atividades de conservação, como a restauração de habitats e a monitorização da biodiversidade local. Ao participar de tais iniciativas, os estudantes podem se tornar defensores da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos e inspirar outros a seguirem seu exemplo. Sendo assim, a educação é fundamental para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Ao promover a conscientização ecológica, moldar as perspectivas e atitudes dos estudantes e incentivar o



envolvimento em atividades de conservação, a educação pode ajudar a garantir um futuro sustentável para a humanidade e a biodiversidade global.

Somado a isso, com a análise dos artigos que foram selecionados para esse trabalho, foi possível evidenciar que os artigos apresentam uma diversidade de perspectivas sobre a conservação da biodiversidade e a importância da educação ambiental na escola e na formação dos professores. Ao analisá-los de forma crítica, é possível identificar alguns pontos positivos e negativos que merecem destaque. Entre os pontos positivos, destaca-se a ênfase na importância da conservação da biodiversidade como uma questão central para o futuro do planeta e a necessidade de se investir na formação de professores e na educação ambiental na escola para conscientizar os alunos sobre essa temática. Alguns dos artigos apresentam abordagens pedagógicas e metodologias para a abordagem da biodiversidade em sala de aula, destacando a importância de se trabalhar de forma interdisciplinar e contextualizada com a realidade dos alunos. Além disso, os artigos reconhecem que o papel do professor é fundamental nesse processo, uma vez que ele pode contribuir para a formação de uma consciência crítica e reflexiva nos alunos, capaz de promover mudanças positivas na sociedade.

No entanto, também é possível identificar pontos negativos nos artigos. Alguns deles apresentam uma abordagem superficial da questão, focando apenas na importância da biodiversidade e da educação ambiental, sem aprofundar a discussão em relação aos desafios e dificuldades envolvidos na implementação dessas propostas em sala de aula. Além disso, alguns artigos não apresentam uma fundamentação teórica consistente, o que pode limitar a compreensão dos leitores sobre a temática.

Outro ponto que merece destaque é a falta de discussão em relação a relação entre a conservação da biodiversidade e a realidade social e econômica do país. Embora alguns artigos tenham abordado a importância da educação ambiental para o consumo consciente, por exemplo, não houve uma discussão aprofundada sobre os impactos do modelo econômico predominante na degradação do meio ambiente e na exclusão social.

Em suma, os artigos apresentados são importantes para a discussão sobre a conservação da biodiversidade e a educação ambiental na escola, mas é necessário avançar na reflexão crítica sobre essas questões, a fim de superar os desafios e limitações na implementação dessas propostas em sala de aula e na sociedade como um todo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a elaboração deste trabalho, foram utilizadas diversas referências de artigos científicos relacionados à educação ambiental e conservação da biodiversidade. Os artigos abordaram temas importantes como o papel da escola e do professor na promoção da educação ambiental, a dificuldade dos alunos em compreender a conservação da biodiversidade e como o professor pode intermediar nesse processo, além de uma abordagem histórica da biologia da conservação e dinâmicas locais de apoio e resistência à conservação da biodiversidade.

Os artigos apresentaram pontos positivos e negativos em relação à temática. Alguns destacaram a importância da educação ambiental na escola para promover o desenvolvimento sustentável e a conscientização dos alunos sobre a preservação do meio ambiente. Outros ressaltaram a falta de formação adequada dos professores em relação à temática e a necessidade de um currículo mais voltado para a educação ambiental.

Porém, apesar das divergências, todos os artigos apontaram para a importância da conservação da biodiversidade para o equilíbrio do planeta e para o papel fundamental da educação na promoção desse tema. Através da educação, é possível moldar novas atitudes e comportamentos em relação ao meio ambiente e, conseqüentemente, promover a conservação da biodiversidade.

Por fim, pode-se concluir que a educação ambiental é um tema crucial e que deve ser abordado de maneira transversal em todas as disciplinas, principalmente na escola básica, onde as bases para a formação de cidadãos conscientes e responsáveis são construídas. Além disso, é importante que os professores sejam capacitados para lidar com a temática de maneira efetiva, buscando sempre novas formas de engajar e sensibilizar os alunos em relação à conservação da biodiversidade.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, Leandra de Lourdes Rezende; ARANTES, Gabriel Gonçalves; BERNARDES, Maria Beatriz Junqueira. **Consumo consciente por meio da educação ambiental na escola.** Ensinando Geografia, v. 26, n. 1, p. 166-180, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/ensinodegeografia/article/viewFile/244511/34844>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

Ambiente Brasil. **Carta brasileira para educação ambiental (MEC, Rio-92).** Disponível em: <[https://ambientes.ambientebrasil.com.br/educacao/artigos/carta\\_brasileira\\_para\\_educacao\\_ambiental\\_mec\\_rio-92.htm](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/educacao/artigos/carta_brasileira_para_educacao_ambiental_mec_rio-92.htm)>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BARCELLOS, Christovam *et al.* **Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil.** Epidemiologia e Serviços de Saúde [online]. 2009, vol.18, n.3, pp.285-304. ISSN 1679-4974. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742009000300011>>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BORGO, Maria Laura. **Biodiversidade: recurso natural superexplorado, mas subutilizado para existência humana e o desenvolvimento econômico.** 2020. Disponível em: <<https://mandalaciencia.com.br/biodiversidade-recurso-natural-superexplorado-mas-subutilizado-para-existencia-humana-e-o-desenvolvimento-economico/>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

COSTA, Francisco Wendell Dias; AGUIAR, Patrícia Rosa. **A formação da cidadania ecológica articulada à Educação Ambiental na escola.** Cerrados, v. 22, n. 36, p. 1-14, 2013. Disponível em: <<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/3061/3320>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

ECKEL, Evandro Regis. **A contribuição da educação ambiental para a formação de cidadãos críticos e atuantes: um estudo de caso em uma escola da rede pública de Itajaí/SC.** 2007. 142f. Dissertação (Mestrado em Educação Ambiental) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2007. <Disponível em: <https://www.univali.br/Lists/TrabalhosMestrado/Attachments/2586/Evandro%20Regis%20Eckel.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

EMBRAPA. **Serviços Ambientais**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-servicos-ambientais/sobre-o-tema>>. Acesso em: 26 fev. 2023.

FALCÃO, Gustavo Adolfo *et al.* **A atuação da educação ambiental na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos em escolas públicas: um estudo de caso em uma escola de ensino fundamental**. Revista de Estudos Ambientais, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 11-27, 2020. ISSN 2359-2087. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/39453/html>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

FIOTEC; FIOCRUZ. **Plano de Ação Nacional para Conservação da Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos: 2021-2030**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2021. Disponível em: <[https://www.biodiversidade.ciss.fiocruz.br/sites/www.biodiversidade.ciss.fiocruz.br/files/SumarioExecutivo\\_Portugues.pdf](https://www.biodiversidade.ciss.fiocruz.br/sites/www.biodiversidade.ciss.fiocruz.br/files/SumarioExecutivo_Portugues.pdf)>. Acesso em: 28 fev. 2023.

FRANCO, José Luiz de Andrade. **O conceito de biodiversidade e a história da biologia da conservação: da preservação da wilderness à conservação da biodiversidade**. História, Ciências, Saúde-Manguinhos, v. 12, n. 1, p. 29-51, 2005. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/his/a/LZyXDZjgmVh4ssHfPPNrGHd/?lang=pt>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

HANSEN, Karem Susan. **Metodologias de ensino da educação ambiental no âmbito da educação infantil**. Revista Educação Ambiental em Ação, n. 64, p. 1-11, 2018. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1467>>. Acesso em: 26 fev. 2023.

IPBES. **Sumário para tomadores de decisão do relatório global de avaliação sobre biodiversidade e serviços ecossistêmicos da Plataforma Intergovernamental de Ciência e Política sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**. 2019. Disponível em: <<https://ipbes.net/global-assessment>>. Acesso em: 25 fev 2023.

IPCC. **Mudanças climáticas: impactos, adaptação e vulnerabilidade; aspectos regionais**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 2014.

JACOBI, P. **Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade**. Cadernos de Pesquisa, São Paulo, n. 118, p. 189-205, mar. 2003.

MAIA, Jorge Sobral da Silva; TEIXEIRA, Lucas André. **Formação de professores e educação ambiental na escola pública: contribuições da pedagogia histórico-crítica**. Cadernos de Formação RBCE, Brasília, v. 8, n. 2, p. 1-13, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/312659130\\_Formacao\\_de\\_professores\\_e\\_educacao\\_ambiental\\_na\\_escola\\_publica\\_contribuicoes\\_da\\_pedagogia\\_historico-critica](https://www.researchgate.net/publication/312659130_Formacao_de_professores_e_educacao_ambiental_na_escola_publica_contribuicoes_da_pedagogia_historico-critica)>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MATTOS, Ariane Barilli de; GEBRAN, Raimunda Abou. **Educação ambiental na escola pública: pesquisa-ação colaborativa para uma formação crítico-reflexiva**. Ciências Humanas, Presidente Prudente, v. 12, n. 1, p. 73-89, 2019. Disponível em: <<https://revistas.unoeste.br/index.php/ch/article/view/2647/2557>>. Acesso em: 13 mar. 2023.

Ministério da Educação. (2007). **Educação Ambiental: aprendizes de sustentabilidade**. Brasília, DF: Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização e Diversidade.

Ministério da Educação; Coordenação Geral de Educação Ambiental; Ministério do Meio Ambiente; Departamento de Educação Ambiental; UNESCO. **Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola**. Brasília, DF, 2007.

MOURO, Carla; CASTRO, Paula. Dinâmicas locais de apoio e resistência à conservação da biodiversidade: uma perspectiva das representações sociais. **Análise Social**, v. 55, n. 235, p. 108-126, 2020. Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/analisesocial/article/view/22247>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

OECD. **O que são serviços ambientais? Dicionário Ambiental**. 2014. Disponível em: <<https://oeco.org.br/dicionario-ambiental/28158-o-que-sao-servicos-ambientais/>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

OLIVEIRA, M. M. D. *et al.* (2017). **Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade**. Caxias do Sul, RS: Educs. Disponível em: <[https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-cidadani-meioamb\\_3.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-cidadani-meioamb_3.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2023.

PINTO, Bárbara Gabriela Lima *et al.* **Concepção da Educação Ambiental Na Escola Pública, Em Atalaia do Norte-AM**. Revista Educação, v. 41, n. 3, p. 371-384, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.unir.br/index.php/EDUCA/article/view/2718/3095>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

ProNEA. **Programa Nacional de Educação Ambiental - 3ª edição**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental, Departamento de Educação Ambiental, 2012. 54 p.

REIS, Marília Freitas de Campos Tozoni *et al.* **A educação ambiental na escola básica: diretrizes para a divulgação dos conhecimentos científicos**. Pesquisa em Foco, Araraquara, v. 11, n. 1, p. 82-95, 2019. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/pesquisa/article/view/6783/4950>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ROTHER, E. T. **Revisão sistemática x revisão narrativa**. Acta Paulista e Enfermagem. Vol. 20, núm 2, abril – julho, 2007, pp. V. vi. Escola Paulista de Enfermagem São Paulo, Brasil.

SCARDUA, V. M. **Crianças e Meio Ambiente: A importância da educação ambiental na educação infantil**. Revista FACEVV, Vila Velha, n. 3, p. 57-64, 2009.

SILVA, Laudicéia Oliveira. **A importância da educação ambiental**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 5, n. 10, p. 91-101, outubro de 2018. ISSN 2448-0959. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/ambiental>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

SILVA, A. C. G. da & Paula, F. W. de S. (2020). **Importância da educação ambiental no contexto escolar: uma revisão integrativa da literatura**. Anais do Congresso Nacional de Educação (CONEDU), 7, 3156-3167. ISSN 2358-8829. Recuperado de: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/68715>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

SILVA, Lilian Natani Rosa da; CALIXTO, Patricia Mendes. **Educação ambiental na escola: promovendo e valorizando o sujeito e o ambiente**. Thema, São Cristóvão, v. 10, n. 2, p. 431-440, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/402/348>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SOBRAL, A. **História da Educação Ambiental no Brasil e no mundo**. Portal Resíduos Sólidos, [s.l.], 18 jun. 2018. Disponível em: <<https://portalresiduossolidos.com/historia-da-educacao-ambiental-brasil-e-mundo/>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

TOZONI-REIS, Marília Freitas de Campos. **Educação ambiental na escola básica: reflexões sobre a prática dos professores.** Revista de Ciências Exatas e Naturais, Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 189-208, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/rce/article/view/1670/1519>>. Acesso em: 12 mar. 2023.

UHMAN, Rosangela Inês Matos; VORPAGEL, Fernanda Seidel. **Educação ambiental na escola e a influência da mídia.** Enciclopédia Biosfera, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011. Disponível em: <<http://srvapp2s.santoangelo.uri.br/seer/index.php/encitec/article/view/2529/pdf-2529>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ZUCCHINI, Lilian Giacomini Cruz. **Educação Ambiental na escola pública: análise a partir da Pedagogia Histórico-Crítica.** Ciência & Educação (Bauru), v. 21, n. 1, p. 95-109, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/xxzz8pQ4zssgX4zNKjHTCRD/?lang=pt>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

## Perfil geoambiental de inselbergues na Caatinga Sertaneja e o papel do poder público na preservação ambiental: o caso do inselbergue Espinho Branco

**Erlon Gomes Nunes**

*Discente do Curso de Engenharia Civil (IFPB, Campus Patos)*

**Elenide de Sousa Martins**

*Licenciada em Geografia (UNIFIP), Especialista em Educação Ambiental (UNIFIP)*

**Edilson Mendes Nunes**

*Licenciado em Geografia (UNIFIP), Mestre em Sistemas Agrossilvipastoris (UFMG)*

**Clorisvaldo Ferreira de Oliveira**

*Discente do curso de Tecnologia em Gestão Pública – UNIFATECIE – Polo Patos*

**Antônio Pereira de Oliveira**

*Discente do curso de Tecnologia em Gestão Pública – UNIFATECIE – Polo Patos*

**Pedro Jorge Oliveira Medeiros**

*Discente do curso de Tecnologia em Gestão Pública – UNIFATECIE – Polo Patos*

**Regis de Medeiros Mota**

*Discente do curso de Tecnologia em Gestão Pública – UNIFATECIE – Polo Patos*

### RESUMO

Os inselbergues são formações geológicas marcantes do semiárido nordestino, também conhecidas como morros, morros testemunhos, serrotes e lajedos. Essas elevações são resíduos de um processo de pediplanação e aparecem isoladas na paisagem, com silhuetas homogêneas e longas extensões de rochas nuas. De perto, apresentam mosaicos de fisionomias distintas devido às variações na topografia, substrato e microclima. Estudos globais sobre a geomorfologia e geologia dos inselbergues revelam que essas formações funcionam como laboratórios naturais, evidenciando a história geológica, a evolução do relevo e a diversidade biológica da região. Inselbergues são ilhas de biodiversidade, abrigando espécies de plantas e animais diferentes das áreas circundantes. Embora não possuam leis específicas de proteção, os inselbergues podem ser protegidos por diversas legislações federais, estaduais ou municipais devido às suas características geomorfológicas e ambientais. É crucial analisar como essas áreas são consideradas pelo poder público e quais leis as beneficiam. O município de Patos, na Paraíba, possui um relevo predominantemente ondulado e está localizado na depressão sertaneja. O clima é quente e seco (tipo Bsh), com chuvas de verão e uma pluviosidade média anual de 600 mm. O estudo focou no inselbergue Espinho Branco, localizado a sudoeste de Patos, caracterizando seus aspectos geoambientais e observando a degradação existente. O estudo foi exploratório qualitativo,





realizado em campo e complementado em gabinete, destacando a importância de levantar dados relevantes sobre a situação e evolução dos inselbergues devido ao alto grau de intervenção humana.

**Palavras-chave:** inselbergues; biodiversidade; pediplanação.

## INTRODUÇÃO

O Inselbergues são uma das formações mais marcantes do semiárido nordestino. Essas formações também são conhecidas por morros, morros testemunhos, serrotes e lajedos; dependendo da região. Guerra e Guerra (2019, p.353) afirmaram que estas elevações são resíduos de um processo de pediplanação e que se apresentam de forma isolada na paisagem. Em relação ao seu aspecto, quando observados à distância, possuem silhuetas homogêneas, com longas extensões de rochas nuas (Meirelles *et al.*, 1999; Porembski *et al.*, 2000). Mas quando se tem uma visão mais aproximada, verifica-se que eles são formados por mosaicos de fisionomias distintas, resultados das variações na topografia, no substrato e no microclima (Porembski *et al.*, 1996; Agra *et al.*, 2002; Burke, 2002; Arbeláez e Duivenvoorden, 2004).

A geomorfologia e a geologia dos inselbergues vem sendo estudados em todo o mundo. Nesta geomorfologia especial sugerem laboratórios naturais que denotam a história geológica da região, a evolução do relevo e a diversidade da biota. Os Inselbergues apresentam-se como verdadeiras ilhas de biodiversidade em relação aos seus entornos, podendo ter espécies de plantas e animais diversos dos que se veem nas áreas ao redor da formação.

Os inselbergues não possuem leis específicas de proteção, porém podem ser enquadrados em várias leis federais, estaduais ou municipais devido às características geomorfológicas e ambientais dessas formações. Neste ínterim, é necessário analisar como estas áreas estão sendo consideradas pelo poder público e quais Leis os beneficiam.

O município de Patos é conhecido por possui relevo predominantemente ondulado a suavemente ondulado, com declividade média à baixa, com exceção de algumas áreas. O seu território estende-se pelas áreas aplainadas do sertão paraibano, conhecida como depressão de Patos, que faz parte do conjunto de depressões periféricas e interplanálticas semiáridas que circulam o Planalto da Borborema na Paraíba. A esse conjunto Ab' Saber denominou de Superfície Sertaneja e depressão sertaneja (RadamBrasil, 1981).

O presente trabalho consiste em caracterizar os aspectos geoambientais do Inselbergue Espinho Branco, sua formação geológica, observando a degradação existente ali. Com o objetivo de caracterizar os aspectos ambientais e geomorfológicos do Inselbergue Espinho Branco. Justifica-se ainda pela importância dos estudos dos inselbergues na região do semiárido, bem como da necessidade de se levantar dados relevantes acerca da situação e evolução visto o alto grau de antropismo nestas formações.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da Área de Estudo

O presente estudo é do tipo exploratório qualitativo, realizada em campo com complemento em gabinete.

O município de Patos - PB se localiza na depressão sertaneja, no semiárido paraibano, com uma área de 506,5 km<sup>2</sup> (quilômetros quadrados). Situando-se geograficamente nas coordenadas 7°01'28"S e 37°16'48"W, com altitude média de 249 metros. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Bsh, quente e seco, com chuvas de verão. O período mais seco compreende os meses de julho a fevereiro e o mais chuvoso, o período de março a junho. A pluviosidade média anual é de 600 mm/ano, com potencial de evapotranspiração superior a 2.000 mm/ano e distribuição irregular das chuvas. Além disso, a região apresenta temperaturas médias superiores a 25°C.

O alvo do estudo foi o inselbergue conhecido por Espinho Branco, localizado a sudoeste do município de Patos - PB.

**Figura 1 - Aspecto do inselbergue Espinho Branco alvo da presente pesquisa.**



Fonte: autores.

### Etapas da Pesquisa

#### Atividades em Campo

Nesta fase, foram realizadas visitas ao Inselbergue Espinho Branco, no período de junho a agosto de 2023. Durante essas visitas, realizamos o mapeamento da área estudada, caracterizando os tipos de solo, a altura, os tamanhos e as formações geológicas e geomorfológicas. Além disso, foram levantados os principais problemas ambientais da área, analisando o grau de degradação ambiental decorrente, principalmente, da intervenção antrópica.

## Atividades em Gabinete

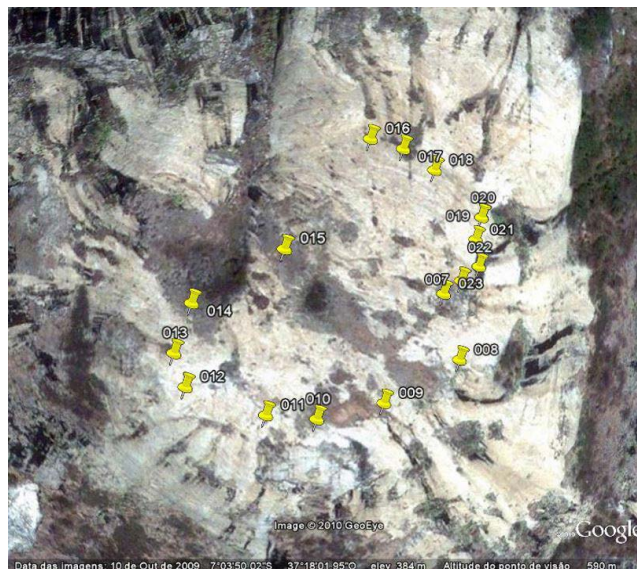
No início, foi realizado um levantamento bibliográfico, com consulta a livros, sites, artigos científicos, revistas e documentos especializados, a fim de aprofundar o conhecimento sobre as formações geológicas dos inselbergues, com foco em áreas áridas e semiáridas. Após a pesquisa de campo, foram realizadas análises, mapeamento da área, observação e coleta de dados sobre a degradação ambiental existente no Inselbergue Espinho Branco.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Inselbergue Espinho Branco, em Patos, Paraíba, marca a feição geomorfológica do município em toda a sua extensão. É a formação desse tipo com mais proximidade do centro da cidade, podendo ser vista de quase todos os bairros. Essa proximidade o torna ainda mais sujeito à degradação.

O Espinho Branco possui as seguintes coordenadas geográficas:  $-7^{\circ} 03' 46,60058''$  S e  $-37^{\circ} 17' 58,66796''$  W, com altitude máxima de 417 metros e um desnível médio em relação à cidade de Patos - PB de aproximadamente 166 metros. Ocupa uma área de aproximadamente 12,94 hectares. O solo é do tipo Luvissole (Embrapa, 1972). O topo mede cerca de 7.678 metros quadrados, na parte mais alta do inselbergue. Apresenta formação granítica e feição arredondada em várias facetas.

**Figura 2 - Imagem de satélite correspondente ao Topo do Inselbergue Espinho Branco com pontos georreferenciados em destaque.**



Fonte: Googleearth.com, modificado

Em seu entorno, encontram-se dois açudes e o Rio da Cruz. Os dois açudes são privados e utilizados para irrigação e consumo animal. Já o Rio da Cruz é o principal afluente do Rio Espinharas, o principal rio da microrregião das Espinharas, na região central do Estado da Paraíba.

A unidade litoestratigráfica onde está inserido o inselbergue é o Complexo Granjeiro: ortognaisse (2541 Ma). A topografia dos terrenos do município de Patos revela cotas situadas entre 240 m e 580 m. O relevo é predominantemente ondulado a suavemente

ondulado, com declividade média a baixa, com exceção de áreas ao norte onde se localiza a serra de Carnaúba, ao sul nos serrotes de Espinho Branco e Forquilha, centro-oeste no serrote Serra Negra, noroeste nos serrotes Campo Alegre, Trapiá e <sup>1</sup> serra do Boqueirão, e a oeste nos serrotes Pitombeiras, do Caboclo e do Tamanduá. Nessas <sup>2</sup> áreas, a declividade é média a elevada (CPRM, 2002).

O território em destaque neste estudo estende-se pelas áreas aplainadas do sertão paraibano, conhecida como depressão de Patos, que faz parte do conjunto de depressões periféricas e interplanálticas semiáridas que circulam o Planalto da Borborema na Paraíba. A esse conjunto, Ab' Saber denominou Superfície Sertaneja e depressão sertaneja (RadamBrasil, 1981).

## Forma e Visual do Inselbergue Espinho Branco

O Espinho Branco pode ser visualizado de muitos locais da cidade de Patos, destacando-se por sua forma proeminente e por sua superfície rochosa exposta, da qual deriva seu nome.

Nas laterais, observa-se uma formação vegetal característica do sertão, com predominância de espécies arbustivas e herbáceas, que contrasta com o branco da rocha, conferindo ao inselbergue um aspecto singular.

O Espinho Branco é circundado por diversos corpos d'água, entre os quais se destacam dois açudes e o rio da Cruz. Na região, também se encontram fazendas dedicadas à agricultura e à criação de animais. Do topo, desfruta-se de uma vista panorâmica da cidade de Patos, com destaque para o açude Jatobá e a Barragem da Farinha, responsáveis por grande parte do abastecimento hídrico da cidade.

## Perfil Geoambiental

Os inselbergues são exemplos de relevos testemunhas que foram formados pela erosão diferencial. Por serem totalmente destoantes do relevo que os cerca, funcionam como verdadeiras ilhas de vida, principalmente em sua face a barlavento. Animais e plantas que normalmente não são vistos em outras áreas são comuns nos inselbergues. Essa característica, notadamente evidente no Espinho Branco, corrobora com a pesquisa de Lopes-Silva *et al.* (2019), que em estudo similar detectou tal característica. Da mesma forma, Silva *et al.* (2023), ao tratarem da microfauna, afirmam inclusive uma quantidade muito maior de fungos em áreas de inselbergues.

O corpo rochoso do inselbergue Espinho Branco está localizado em área privada e não possui qualquer plano de conservação, preservação ou plano de recuperação, segundo informações colhidas nos órgãos ambientais municipal e estadual.

Não há qualquer atividade humana controlada no local, apenas indícios de utilização turística desordenada e, conforme informações dos moradores das proximidades, existe caça e “pega” de animais; provavelmente atividades ilegais.

É notória a intervenção humana no local, o que acelera a degradação ambiental, provocando desequilíbrios ecológicos de gravidade variável ao longo do corpo rochoso.

No Inselbergue Espinho Branco foram identificados vários tipos de degradações desde a base até o ápice, como: queimadas, retirada de madeira, lixo acumulado, erosão aparente e pichações.

### **Queimadas**

Nas visitas realizadas, foram identificados vários focos de queimadas indiscriminadas, aparentemente sem motivos, pois não se cultiva absolutamente nada naquela área, o que acaba provocando a eliminação de toda a cobertura do solo e, por conseguinte, a fonte de alimento animal, limitando o número de nichos ecológicos e ainda acarretando a redução dos recursos alimentares (Araújo Filho e Barbosa, 2000). Neste contexto, intensificam-se as repercussões sobre a fauna do solo por estar sendo privada de alimentação e abrigos (Nunes *et al.*, 2006). As queimadas modificam tanto o estrato herbáceo quanto o arbustivo-arbóreo presente no Inselbergue, eliminando assim grande parte da biodiversidade do local.

### **Retirada de Madeira**

A extração de madeira para uso como lenha no sopé do Inselbergue vem causando danos à vegetação, gerando áreas de solo descoberto que estão em processo de desertificação. Segundo Galindo *et al.* (2008), a lenha e o carvão vegetal ainda representam importantes fontes de energia, o que tem contribuído para o desmatamento e o aumento da pressão sobre o revestimento florístico remanescente.

É notável no sopé do Inselbergue estudado o corte de árvores para retirada de lenha, que provocou vários focos de desertificação, provavelmente para utilização doméstica de moradores dos arredores e criação de animais (caprinos) em sistema extensivo. Esses animais acabam subindo ao Inselbergue em busca de alimento, causando degradação ao se alimentarem de brotos e compactarem o solo.

### **Resíduos Sólidos**

Os impactos das atividades humanas estão presentes na paisagem do Espinho Branco, com a poluição do local provocada pelo lixo deixado por visitantes que não se preocupam com a preservação. Cavalcante *et al.* (2023) também encontraram problemas similares ao analisar outros inselbergues na mesma região.

Nas visitas, foram registradas pichações, restos de construções antigas e, ainda, restos de material de construção e postes. O lixo se faz presente em grande parte do Inselbergue, sendo roupas, garrafas de vidro, pets e sacolas os principais materiais encontrados, provocando diversos problemas às formas de vida existentes.

### **Exploração Turística não Controlada**

A paisagem do Espinho Branco é deslumbrante, com uma grande diversidade de aspectos geográficos. O local oferece uma vista ampla de toda a redondeza, sendo um ponto turístico bastante visitado pela população local, porém sem os devidos cuidados por parte dos visitantes. O público que visita o Espinho Branco é bastante diversificado, com todos buscando estar em contato com a natureza.



Frequentemente, encontram-se grupos de pessoas fazendo acampamentos no topo, trilhas e escaladas nos finais de semana. O local também serve para a prática de rapel, promovida por grupos da cidade de Patos.

O Espinho Branco não possui qualquer proteção ambiental, o que permite que os visitantes façam fogueiras, provoquem queimadas, destruam árvores e deixem grandes quantidades de lixo por toda parte. As pichações já fazem parte da paisagem da pedra, podendo ser encontradas em todos os lados do Inselbergue.

## **Erosão**

Embora seja um processo natural, o intemperismo no local acaba se acelerando devido ao desmatamento e à má utilização do local. O Inselbergue Espinho Branco fica exposto, sujeito à ação do vento e de outros fatores. As temperaturas podem variar significativamente ao longo do dia, com noites frias e dias quentes e ensolarados. Essa grande variação local de temperatura e umidade influencia consideravelmente o processo de erosão.

Sobre a rocha desnuda do Inselbergue, encontram-se áreas cobertas por uma camada de solo bastante profunda, habitadas por algumas espécies endêmicas e raras da Caatinga. Esses solos se formam a partir da decomposição do arenito, através da ação eólica, formando depósitos arenosos ou pedregosos rasos, podendo se tornar mais profundos em áreas com topografia favorável. Apesar de pouco profundos, esses solos oferecem condições ideais para o desenvolvimento de diversas espécies de plantas, que crescem nas rochas, em fissuras ou depressões onde se acumulam areia, pedregulhos e outros detritos, juntamente com o húmus resultante da decomposição de restos vegetais.

Na face da pedra, nota-se ainda o intemperismo do tipo esfoliação química e física, devido à presença de organismos e à ação eólica. Esses processos atuam de fora para dentro, destruindo a rocha, desagregando e decompondo seus minerais, o que provoca o surgimento de blocos rochosos em diversos graus de alteração. A ação eólica, por sua vez, intensifica o processo de erosão.

O relevo varia de plano a fortemente ondulado próximo aos divisores de água do Planalto da Borborema. A área é drenada pelo Rio Espinharas, formado pelos rios da Farinha e da Cruz. A vegetação predominante é a Caatinga. Os solos, condicionados pelas rochas-mães, são, em sua maioria, rasos e pedregosos, típicos de regiões semiáridas. Devido à vegetação esparsa e caducifólia, os solos estão expostos à ação das chuvas, o que favorece o escoamento superficial e a erosão. Esses processos são fundamentais na modelagem do relevo semiárido.

## **O Papel do Poder Público na Preservação dos Ambientes Naturais dos Inselbergues**

O poder público possui um papel importantíssimo na preservação das áreas naturais. O Brasil possui um arcabouço Jurídico muito grande, com grande abrangência e precisão (Dos Santos, 2016). Porém políticas públicas sérias não são implementadas no sentido de preservação e conservação dos inselbergues.



Das Leis Federais que poderiam ser aplicadas tanto no alvo do presente estudo como em outros inselbergues da região, destacamos: Constituição Federal em seu artigo 225, Lei de Crimes Ambientais, Código Florestal e a Lei Nacional de Unidades de Conservação (Aquino, 2021).

Destas Leis destacamos principalmente o Código Florestal que define as Áreas de Preservação Permanente (APPs), que incluem as encostas com inclinação superior a 45 graus, típicas de muitos inselbergues. A lei proíbe o desmatamento e outras atividades nessas áreas.

Especificamente em relação ao Espinho Branco foram consultadas a Superintendência de Administração do Meio Ambiente da Paraíba (SUDEMA) e a Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Município de Patos (SEMADS) onde foi levantado que não há nenhuma Lei Estadual ou Municipal específica de proteção ou preservação dos Inselbergues da região. Porém na SUDEMA foi apresentado vários planos de conservação de áreas adjacentes ao Inselbergue, bem como foi declarado que várias fiscalizações são realizadas no sentido de coibir crimes ambientais como caça e pesca ilegal, bem como queimadas e depredação do ambiente natural do inselbergue e da caatinga como um todo.

Apesar do amplo arcabouço jurídico brasileiro que protege o meio ambiente, a implementação de políticas públicas eficazes para a preservação dos inselbergues, como o Espinho Branco, ainda é um desafio. Embora existam leis federais, como o Código Florestal, que definem áreas de preservação permanente e proíbem atividades danosas nesses locais, a ausência de legislação específica para a proteção dos inselbergues em nível estadual e municipal dificulta a sua conservação. A falta de planejamento e de ações coordenadas entre os órgãos ambientais pode comprometer a efetividade das medidas de proteção.

## CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

O Inselbergue Espinho Branco, com sua rica biodiversidade, sofre um processo acelerado de degradação ambiental. Apesar de sua importância ecológica e do seu potencial para o ecoturismo e a pesquisa científica, não há medidas específicas para a sua proteção.

Nas visitas realizadas ficou evidente que a cobertura vegetal do Espinho Branco tem diminuído significativamente nos últimos anos devido a atividades como o desmatamento e a coleta de recursos naturais. A falta de políticas públicas adequadas e a ausência de fiscalização facilitam a degradação desse ecossistema frágil.

A perda da biodiversidade, a erosão do solo e a alteração do regime hídrico são algumas das consequências da degradação do Espinho Branco. Além disso, a falta de proteção desse patrimônio natural representa uma perda para a sociedade, que deixa de usufruir dos seus benefícios ecológicos e culturais.

É urgente a implementação de um plano de manejo integrado para o Espinho Branco, envolvendo a criação de uma unidade de conservação, a realização de pesquisas científicas, a educação ambiental da comunidade local e o monitoramento constante das condições ambientais. Ainda a participação ativa da sociedade civil é fundamental para

garantir a efetividade das ações de conservação e para promover o desenvolvimento sustentável da região.

## REFERÊNCIAS

- AGRA, M.F. *et al.* Levantamento Florístico Preliminar do pico do Jabre, Paraíba, Brasil. In: PORTO, K. *et al.* (eds.). **Brejo de altitude em Pernambuco e Paraíba. História Natural, Ecologia e conservação.** Ministério do Meio Ambiente: Brasília: 2002, p. 324.
- AQUINO, Alexandre Augusto de Abreu *et al.* **O papel das unidades de conservação na preservação da natureza.** 2021.
- ARAÚJO FILHO, J. A.; BARBOSA, T. M. L. **Sistemas Agrícolas Sustentáveis para a Regiões do Semi-áridas.** Sobral: Embrapa-Caprinos, 2000, 18 p.
- ARBELÁEZ, M. V; DUIVENVOORDEN, J. F. **Patterns of plant species composition on Amazonian sandstone outcrops.** In: Veg. Sci. Knivsta. Colombia, v.15, 2004. p.181-188.
- BURKE, A. **Islands-matrix relationships in Nama Karoo inselbergs landscapes. Part I: Do inselbergs provide a refuge for matrix species?** In: Plant Ecology. 2002. p. 79-90.
- CAVALCANTE, Luciene Morais *et al.* **Biodiversidade e antropismo em inselbergues como instrumento de Educação Ambiental e sustentabilidade.** Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 18, n. 5, p. 39-60, 2023.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Programa de Água Subterrânea para o Semi-árido Brasileiro.** Recife: CPRM, 2002. Disponível em: < [http://proasne.net/ PA RSNEFinal. Pdf](http://proasne.net/PA_RSNEFinal.Pdf)> Acesso: 10 set 2023.
- DOS SANTOS, Crislaine Aparecida Pereira *et al.* **O papel das políticas públicas na conservação dos recursos naturais.** Revista geográfica acadêmica, v. 10, n. 2, p. 18-29, 2016.
- GALINDO, I.C.L.; RIBEIRO, M.R; SANTOS, M.F.A.V.; LIMA, J.F.W.F.; FERREIRA, R.F.A.L. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba,** Pe. R. Bras. Ci. Solo, 32:11283-1296, 2008.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand. 2019. 652p.
- LOPES-SILVA, Rafael Francisco *et al.* **Composição florística de um inselberg no semiárido paraibano, nordeste brasileiro.** Rodriguésia, v. 70, p. e02812017, 2019.
- MEIRELLES, S. T.; PRIVELLO, V. R; JOLY, C. A. **The vegetation of granite rock outcrops in Rio de Janeiro, Brazil, and the needs for its protection.** In: Environmental Conservartion, 1999, p. 10 - 20.
- NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. **Impacto da Queimada e do Pousio sobre a qualidade de um solo sob a caatinga do semi-árido nordestino.** Revista Caatinga, v.19, n. 2, p. 200-208, 2006.

POREMBSKI, S. *et al.* Islands: Habitats. In: POREMBSKI, S.; BATHLOTT, W. (Eds). **Inselbergs: biotic of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions**. Berlin: Ecological Studies, 2000, p. 49-66.

\_\_\_\_\_. **Biodiversity and vegetation of small-sized inselbergs in a West African rain Forest (Tai, Ivory Coast)**. Biogeography: Oxford, v.23, n. 1, 1996, p. 47-55.

RADAMBRASIL. 1981. **Levantamento de Recursos Naturais**. Ministério das Minas e Energia, 25, Folha SD-22/Paraíba.

SILVA, J. M., *et al.* **Diversidade de fungos em inselbergues da Caatinga: um estudo de caso na Serra da Capivara, Piauí, Brasil**. Revista Brasileira de Botânica, v. 46, n. 2, p. 347-357, 2023.

# Ocorrência de hidroxiclорquina, azitromicina e ivermectina em matrizes ambientais: uma revisão

Bruna Giovana Locatelli

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, PR, Brazil*

Ismael Laurindo Costa Junior

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR, Brazil*

Adelmo Lowe Pletsch

## RESUMO

A disposição de fármacos no ambiente é considerada um problema ambiental e tem ganho atenção nos últimos anos por serem considerados contaminantes emergentes, uma vez que essas espécies podem ser encontradas em efluentes e águas superficiais em concentrações de  $\text{ng L}^{-1}$  a  $\mu\text{g L}^{-1}$ , apresentando potenciais riscos à saúde humana e demais espécies. Com a pandemia de covid-19, medicamentos como hidroxiclорquina, azitromicina e ivermectina apresentaram aumento nos padrões de consumo, e pouco se sabe sobre os impactos ambientais relacionados ao enfrentamento da doença ao redor do mundo. A literatura reporta, até o momento, poucos estudos de quantificação de fármacos relacionados a covid-19 em esgoto doméstico. Entretanto, as informações disponíveis apontam para o impacto da pandemia na composição do efluente e no aumento da concentração dos medicamentos utilizados no enfrentamento do vírus SARS-CoV-2. Diversas técnicas têm sido avaliadas para a remoção de fármacos de matrizes ambientais. Estudos empregando foto-catálise, biorreator de membrana associado a nano-membrana/osmose reversa, adsorção em carvão ativado, entre outros, apresentam resultados satisfatórios para remoção de azitromicina de efluente. Para a mesma matriz, a literatura não reporta, até o presente, possíveis técnicas para remoção de hidroxiclорquina e ivermectina. Informações sobre o comportamento da hidroxiclорquina quando disposta no ambiente também são limitadas até o momento. A lacuna de informações quanto à disposição e dinâmica desses fármacos no ambiente reforça a necessidade de estudos nessas áreas.

**Palavras-chave:** contaminantes emergentes, covid-19, efluente doméstico, compartimentos ambientais, antibióticos.

## ABSTRACT

Pharmaceuticals disposal in the environment is considered a form of pollution, and the concern around this subject has grown over time, as they



are classified as emerging contaminants. This species can be found in effluents and surface waters in  $\text{ng L}^{-1}$  to  $\mu\text{g L}^{-1}$ , representing health risks to humans and other species. With the covid-19 pandemic, the use of certain medicaments such as hydroxychloroquine, azithromycin, and ivermectin has shown a significant increase in the consumption patterns, and the environmental impacts of this scenario are still unknown. Up to now, the literature reports a few studies about the environmental disposal of these drugs. However, data points to the pandemic's impact on the composition of domestic wastewater and the increase of covid-19-related drugs' presence in sewage sludge. Several techniques, such as photocatalysis, activated carbon adsorption, membrane bioreactor nanofiltration and reverse osmosis coupled system, have been studied to remove pharmaceuticals from environmental matrices. These methods have shown efficiency in removing azithromycin from sewage sludge on a laboratory scale. Technics for removing hydroxychloroquine and ivermectin from this matrix are still missing, such as data on hydroxychloroquine's behavior in the environment. The lack of information about disposal, behavior, and impacts of cited species in the environment highlights the need for studies in these areas.

**Keywords:** emerging contaminants; covid-19 drugs; wastewater; environmental compartments; antibiotics.

## INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos a ocorrência de contaminantes em matrizes ambientais, como águas superficiais e subterrâneas, solo e ar, aumentou em todo mundo, bem como a preocupação em relação aos efeitos nocivos dessas espécies. No ambiente aquático, substâncias relacionadas a produtos de higiene pessoal, agrotóxicos, microplásticos e fármacos se destacam como contaminantes de preocupação emergente.

Contaminantes emergentes são compostos não legislados, ainda não inclusos nos programas de monitoramento de rotina, e que apresentam potenciais riscos aos seres humanos e ao meio. No Brasil, a legislação não dispõe valores máximos permitidos para concentração de fármacos em corpos aquáticos, embora já se tenha ciência sobre o impacto negativo da presença de diversas substâncias dessa classe no ambiente (Brasil, 2005; Farto *et al.*, 2021).

A entrada de contaminantes emergentes nos compartimentos ambientais pode ser associada a fontes naturais e antrópicas, como precipitação atmosférica, lixiviação, e lançamento de efluentes com tratamento ineficiente, ou até mesmo sem tratamento, em corpos aquáticos. A presença de fármacos no meio está associada a persistência dessas substâncias durante o processo de tratamento de efluente, além de fatores como o uso irracional e o descarte inadequado de medicamentos (Junior *et al.*, 2014; Machado *et al.*, 2016).

Situações como o enfrentamento de doenças endêmicas ou pandêmicas tem grande impacto no uso e na disposição de fármacos no ambiente. No Brasil, o consumo de hidroxycloquina e azitromicina aumentou significativamente durante a pandemia de covid-19, devido a indicação destes para o tratamento e/ou prevenção da doença. Segundo Melo *et al.* (2021), entre 2019 e 2020 foi observado um aumento de 66,5% nas vendas de

cloroquina e hidroxicloroquina no Brasil, enquanto a venda de azitromicina cresceu 30,8%. No mesmo período, foi verificado o aumento de 829% nas vendas de ivermectina no país.

Dessa forma, os impactos ambientais do uso indiscriminado de hidroxicloroquina e azitromicina durante a pandemia são um campo fértil de investigação, por não se ter, ainda, conhecimento da concentração e do comportamento, em especial da hidroxicloroquina, no ambiente.

Assim, esta revisão teve objetivo de contribuir para a prospecção ambiental dos fármacos hidroxicloroquina, azitromicina e ivermectina quanto a sua ocorrência, métodos de detecção e efeito em potencial sobre os ecossistemas com base na literatura atual.

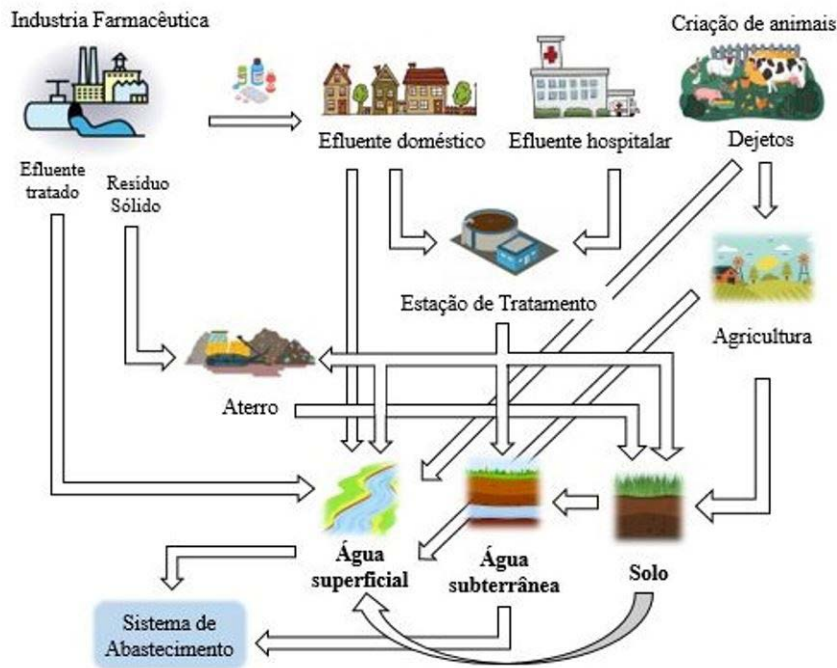
## FÁRMACOS COMO POLUENTES EMERGENTES

O aumento da ocorrência de substâncias orgânicas de origem antropogênica vem sendo investigado ao longo dos anos, e está relacionado ao crescimento populacional e aos padrões de consumo presentes na sociedade, sendo considerado um problema ambiental. Tais substâncias, denominadas contaminantes emergentes, podem ser relacionadas majoritariamente a agrotóxicos, produtos de limpeza e de higiene, drogas ilícitas, micro plásticos, produtos industriais (ex.: plastificantes, retardantes de chama, conservantes para madeira, dentre estes) e fármacos (Machado *et al.*, 2016; Farto *et al.*, 2021).

Contaminantes emergentes são espécies não legisladas, ainda não inseridas em programas de monitoramento de rotina, mesmo em países mais desenvolvidos (Lima *et al.*, 2018). A existência de contaminantes emergentes em ambientes aquáticos, como rios e lagos, aumenta a preocupação em torno da disposição dessas espécies, também já detectadas em água potável. A entrada desses contaminantes em águas superficiais pode ocorrer por fenômenos como precipitação atmosférica e lixiviação de compostos presentes no solo. Entretanto, a entrada contínua está principalmente associada ao lançamento de efluente bruto, ou até mesmo tratado, em corpos d'água receptores (Machado *et al.*, 2016; Taheran *et al.*, 2018). Fármacos como contaminantes emergentes vem se tornando um problema de preocupação crescente, sendo encontrados em níveis traço em águas superficiais, subterrâneas, e efluentes brutos e tratados (Khan *et al.*, 2022; Sundararaman *et al.*, 2022). Dentre as classes que representam maior risco ambiental, pode-se citar os antibióticos, hormônios e antidepressivos. Substâncias farmacológicas podem chegar a corpo d'água por diversas rotas, como apresentado na Figura 1. Uma forma significativa da introdução dessas espécies no ambiente é pelo metabolismo pós-ingestão, proveniente do consumo humano e veterinário de medicamentos. Após o consumo, cerca de 40-90% da substância farmacológica é excretada nas fezes e urina sem sofrer alterações, ou, na forma de metabólitos ativos. Quando de origem humana, essas excreções compõe o esgoto doméstico, que é comumente destinado as estações de tratamento de esgoto ou lançado diretamente em corpos aquáticos. Os dejetos animais podem ser lançados em corpos d'água, ou utilizados na agricultura, possibilitando o transporte das espécies farmacológicas presentes para o solo (Bila e Dezotti, 2003; Junior *et al.*, 2014; Veras *et al.*, 2019).



**Figura 1 - Possíveis rotas de introdução de fármacos no ambiente.**



Fonte: Autoria própria, 2022.

As Estações de Tratamento de Efluente (ETE) realizam a purificação parcial do esgoto recebido, reduzindo os teores de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio e removendo patógenos. Muitos poluentes não são removidos durante o tratamento de efluentes domésticos e de água potável, pois estão presentes em concentrações inferiores a capacidade de remoção das técnicas empregadas. Em águas superficiais de todo mundo fármacos são frequentemente detectados em concentrações na faixa de  $\text{ng L}^{-1}$  a  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Khan *et al.*, 2022; Perin *et al.*, 2021; Rathi, Kumar e Show, 2021; Sundararaman *et al.*, 2022).

Dessa forma, a automedicação, a facilidade de aquisição e o descarte inadequado de medicamentos são fatores que contribuem para o aumento da disposição dessas substâncias no ambiente. Entre 2015 e 2020 o consumo de antibióticos, expresso em Dose Diária Definida (DDD), apresentou aumento de 65%. Estima-se que até 2030 o aumento seja de 200% em relação a DDD definida para 2015 (KLEIN *et al.*, 2018; Salgado *et al.*, 2021). A disposição de antibióticos no ambiente está relacionada ao aumento da resistência de bactérias a esses fármacos. Em concentrações baixas, os antibióticos não causam a morte das bactérias, que por sua vez podem realizar mutações que conferem resistência a essas substâncias. Dessa forma, o consumo inadequado de medicamentos dessa classe acelera o processo de resistência bacteriana, o que representa risco a saúde humana e ao ambiente (Lopes *et al.*, 2016; Taheran *et al.*, 2018).

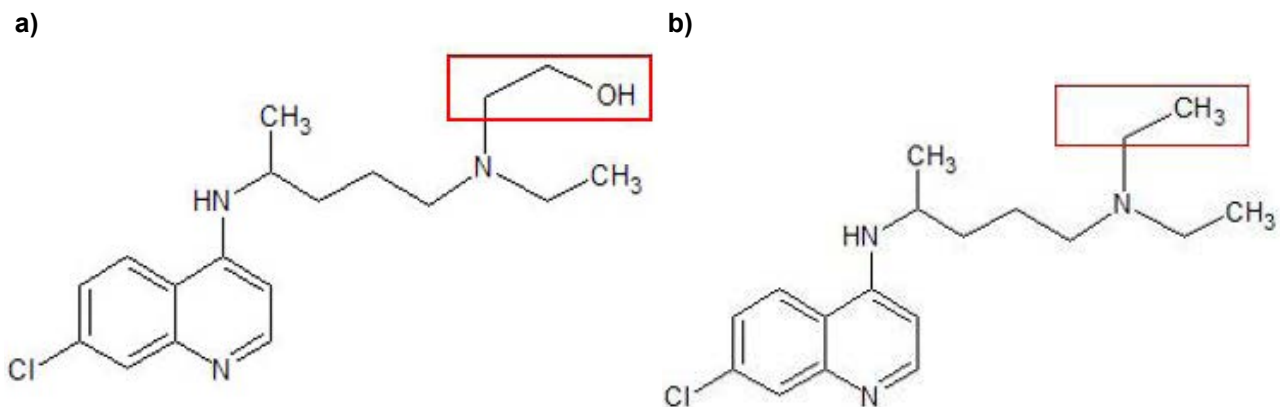
Em adição aos fatores já mencionados, situações como o enfrentamento de doenças endêmicas ou pandêmicas, em que muitos pacientes recebem tratamentos específicos, tem impacto expressivo no uso, e, conseqüentemente, na disposição de fármacos no ambiente (Mendonça-Gomes *et al.*, 2021). No Brasil, durante o enfrentamento da pandemia do coronavírus, foram observados aumentos de 66,5%, 30,8% e 829% nas vendas de cloroquina e hidroxicloroquina, azitromicina, e ivermectina, respectivamente (Melo *et al.*, 2021).

Além do impacto ambiental, o uso inadequado de fármacos pode ter efeitos negativos para a saúde humana. Embora a dose letal de hidroxicloroquina para humanos não seja definida, sabe-se que overdoses desse fármaco, apesar de raras, podem ser letais. O uso de cloroquina e hidroxicloroquina em doses diárias maiores que 5 mg kg<sup>-1</sup> pode aumentar o risco de retinopatia e efeitos como dores de cabeça, tontura, convulsões, perda auditiva neurossensorial e paradas cardíacas (Della Porta *et al.*, 2020; Javorac *et al.*, 2020; Shihari *et al.*, 2022). A azitromicina, assim como demais macrolídeos, quando administrada em doses superiores a recomendada pode causar arritmia cardíaca (Tilelli, Smith e Pettignano, 2006). Embora o consumo de ivermectina seja considerado seguro para humanos, o fármaco apresenta potencial neurotóxico e hepatotóxico. Potenciais efeitos do uso de ivermectina em crianças, idosos e gestantes ainda são pouco conhecidos (Zaheer *et al.*, 2021). Porubcin *et al.* (2022), reporta o caso de consumo oral e intravenoso de ivermectina por paciente de 50 anos. Os principais efeitos observados foram alteração das condições mentais, quadriparesia, midríase e ptialismo. A intoxicação, embora severa, não resultou sequelas.

## HIDROXICLOROQUINA

A hidroxicloroquina (figura 2a) pertence ao grupo das 4-aminoquinolinas. Sua única diferença em relação a cloroquina (Figura 2b) é a presença do grupo hidroxietil no lugar do etil ligado ao nitrogênio da cadeia lateral. Tal diferença estrutural faz com que a hidroxicloroquina apresente maior solubilidade em água e menor toxicidade quando comparada a cloroquina (Kumar *et al.*, 2021).

Figura 2 - Estruturas moleculares da (a) hidroxicloroquina e (b) cloroquina.



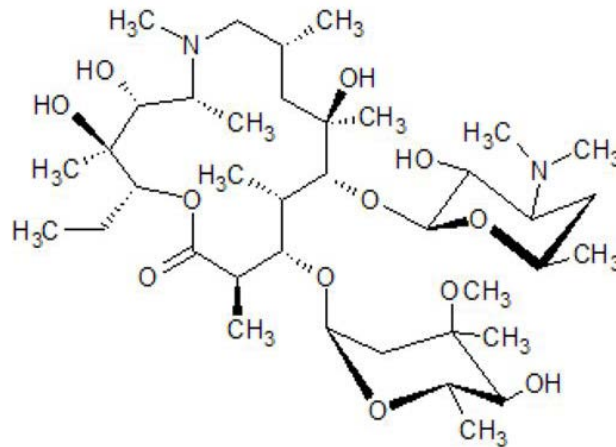
Fonte: Autoria própria, 2022.

Assim como demais moléculas do grupo, a hidroxicloroquina foi inicialmente comercializada como antimalárico. Por possuir propriedades anti-inflamatórias e imunomoduladoras, passou a ser utilizada no tratamento de doenças autoimunes como artrite reumatoide, lúpus eritematoso sistêmico, erupção polimorfa a luz e porfiria cutânea tardia, entre outras (Bensalah *et al.*, 2020). Segundo Kumar *et al.* (2021), aproximadamente 62% da hidroxicloroquina ingerida não é metabolizada pelo organismo, sendo excretada na forma de fármaco ativo. O coeficiente de partição octanol-água determinado para a hidroxicloroquina em pH 7,4 é de 0,66. Para a cloroquina, nas mesmas condições, o coeficiente assume o valor de 0,96. O menor coeficiente de partição comprova o maior caráter hidrofílico da hidroxiclo-

roquina. Os coeficientes de partição de contaminantes emergentes são dados relevantes para a compreensão da disposição dos mesmos em matrizes ambientais (Warhurst *et al.*, 2003; Kumar *et al.*, 2021). Até o momento, pouco se conhece sobre os impactos ambientais relacionados a exposição de ecossistemas a hidroxicroquina. Sabe-se, entretanto, que por ser uma derivada de quinolona, é considerada recalcitrante, tóxica, teratogênica e carcinogênica para organismos aquáticos (Kumar *et al.*, 2021). Mendonça-Gomes *et al.* (2021) avaliou os possíveis efeitos neurotóxicos induzidos em peixes zebra pela exposição a diferentes concentrações de hidroxicroquina e azitromicina isoladas e combinadas. O estudo revelou a diminuição dos níveis totais de proteínas e aumento do estresse oxidativo relacionado a exposição simultânea aos fármacos por 72 h. Tanto no grupo exposto a combinação de hidroxicroquina e azitromicina, quanto no exposto apenas a azitromicina, foi observada a degradação de células que desempenham função mecanossensorial nos peixes zebra. Da Luz *et al.* (2021) estudou os efeitos da exposição de girinos de *Physalaemus cuvieri*, popularmente conhecida por rã-cachorro, a hidroxicroquina e azitromicina isoladas e em conjunto. Os ensaios revelaram que a exposição a azitromicina pura ou combinada a hidroxicroquina pelo período de 72 h, resultou numa resposta fisiológica adaptativa dos girinos. Entretanto, o estudo aponta para a importância da avaliação dos efeitos da exposição a médio e longo prazo, pois o crescimento e desenvolvimento dos animais podem ser comprometidos. Ali *et al.* (2021) averiguou o efeito da exposição de nematoides marinhos de vida livre a diferentes concentrações de hidroxicroquina, e verificou a diminuição na diversidade e quantidade de espécies após 30 dias. Possivelmente pode ocorrer o bioacúmulo de hidroxicroquina nas espécies predominantes após a exposição. Por serem parte da dieta de frutos do mar, nematoides marinhos de vida livre podem ser usados como biomarcadores. Os resultados revelam que a presença de hidroxicroquina em altas concentrações em dada região pode representar um risco potencial para os consumidores de frutos do mar.

## AZITROMICINA

A azitromicina, figura 3, é um antibiótico da classe dos macrolídeos de segunda geração, derivado da eritromicina e primeiramente sintetizada na década de 80. Por apresentar propriedades farmacocinéticas vantajosas, ao longo dos anos ganhou popularidade, se tornando o antibiótico mais utilizado na América do Norte. É amplamente indicado para o tratamento de infecções respiratórias, urogenitais e dermatológicas, mas não se limita a essas aplicações. Por apresentar propriedades antivirais e anti-inflamatórias, pode ser utilizado no tratamento de algumas infecções virais (Firth e Prathapan, 2020; Parnham *et al.*, 2014; Khoshnood *et al.*, 2022).

**Figura 3 - Estrutura molecular da azitromicina.**

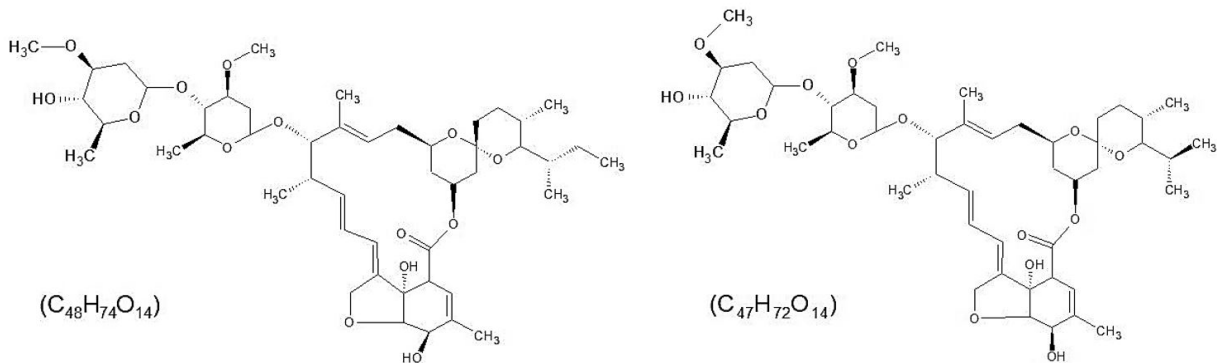
Fonte: Autoria própria, 2022.

Em pH 7, a azitromicina possui coeficiente de partição octanol-água de 0,65 (Bakheit, Al-Hadiya e Abd-Elgalil, 2014). Após o consumo, aproximadamente 75% da azitromicina é excretada sem sofrer alterações, e pode se acumular no lodo de esgoto, sendo detectada na faixa de  $\text{mg kg}^{-1}$  (Sidhu, D'angelo e O'connor, 2019). A azitromicina pode se apresentar nas formas dicatiônica, moncatiônica e neutra. Portanto, o processo de sorção depende, além de demais fatores, do pH do meio e do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ ) da matriz. Wang *et al.* (2018) estudou a interação da azitromicina e outros três antibióticos com lodo ativado, e revelou que as espécies positivamente carregadas possuem maior tendência a serem retidas pela matriz. Pôde-se observar a predominância das interações superficiais no mecanismo de sorção, que foi reversível, espontâneo e exotérmico. A maior interação da azitromicina com o lodo gerado durante o tratamento de efluente do que com a fase aquosa é uma característica importante para a compreensão do comportamento dessa substância no ambiente. O lodo proveniente do tratamento de efluentes pode passar por demais processos, como para remoção de patógenos, por exemplo, e dar origem ao biossólido. Os biossólidos são ricos em matéria orgânica e em compostos de nitrogênio e fósforo. Por isso, são comumente utilizados na agricultura (Sharma, *et al.*, 2017). Dessa forma, conhecer a dinâmica de retenção e liberação de contaminantes emergentes presentes no biossólido é de suma importância para estimar os riscos associados à sua aplicação em solos. A interação de compostos orgânicos em matrizes como solos e biossólidos será influenciada majoritariamente pelo pH, capacidade de troca iônica (CTC), concentração de óxidos de ferro e alumínio, composição eletrolítica e fração de matéria orgânica. Tais características serão alteradas de acordo com a origem da matriz (Sassman e Lee, 2005; Vasudevan *et al.*, 2009; Wenwen *et al.*, 2012). Gravesen e Judy (2020) caracterizaram biossólidos de diferentes fontes e verificaram que a sorção de azitromicina pode ser relacionada ao teor de ferro total. Já a dessorção do fármaco é fortemente dependente da CTC, dos teores de ferro, fósforo e alumínio totais, matéria orgânica e composição eletrolítica do biossólido. Os mecanismos de sorção e dessorção da azitromicina em biossólidos classe A e solos tratados com biossólidos foram estudados por Sidhu, D'angelo e O'Connor (2019). Sob as condições avaliadas, o ensaio revelou que a bioacessibilidade da azitromicina proveniente do biossólido seria mínima. Entretanto, são necessários mais estudos, com biossólidos de composição variada, para avaliar de maneira ampla a bioacessibilidade da azitromicina encontrada na matriz, e também estabelecer sua relação com a biodisponibilidade do composto.

## IVERMECTINA

A ivermectina é um medicamento antiparasitário, e se apresenta como uma mistura de duas avermectinas, representadas na Figura 4, sendo aproximadamente 80% de ivermectina B1<sub>a</sub> (C<sub>48</sub>H<sub>74</sub>O<sub>14</sub>) e 20% ivermectina B1<sub>b</sub> (C<sub>47</sub>H<sub>72</sub>O<sub>14</sub>). Foi inicialmente comercializada em 1981, e por apresentar potente atividade contra endo e ectoparasitas em doses relativamente baixas, é muito utilizada desde então. Seu uso pode ser humano e veterinário, sendo amplamente utilizada em gado, suínos, peixes e animais domésticos (Canga *et al.*, 2009; Prasse, Löffler e Ternes, 2009).

**Figura 4 - Estruturas moleculares das ivermectinas B1<sub>a</sub> e B1<sub>b</sub>, respectivamente.**



Fonte: Autoria própria, 2022.

A farmacocinética da ivermectina é fortemente relacionada a via de administração, que pode ser oral, subcutânea, intramuscular ou tópica. De maneira geral, sabe-se que grande parte do medicamento ingerido é excretado sem sofrer alterações. Por ter forte caráter hidrofóbico, aproximadamente 90% da ivermectina excretada está presente nas fezes, sendo encontrada em baixas proporções na urina. Por ser lipofílica, a ivermectina também pode ser encontrada no leite dos animais em fase de lactação (Canga *et al.*, 2009).

Quando disposta no ambiente, a ivermectina possui grande afinidade com o solo. Estudos de lixiviação utilizando diferentes variedades de solo demonstraram que aproximadamente 99% do fármaco fica retido, e o percolado contém metabólitos menos tóxicos da ivermectina. O medicamento não possui atividade antifúngica e antibacteriana, e, portanto, não ocasiona mortalidade dos microrganismos presentes no solo. Entretanto, alguns organismos aquáticos são sensíveis a substância (Halley, Jacob e Lu, 1989). Mesa *et al.* (2017) investigou a toxicidade da ivermectina proveniente do esterco bovino a *Salvinia* sp, uma macrófita, e aos invertebrados aquáticos *Ceriodaphnia dubia*, *Hyalella* sp. e *Pomacea* sp. O estudo verificou a alta sensibilidade a ivermectina das populações de *C. dubia* e *Hyalella* sp., que apresentaram alta taxa de mortalidade quando expostas ao fármaco. Também foi observado o acúmulo da ivermectina proveniente dos dejetos animais nas raízes de *Salvinia* sp, indicando uma possível rota de transferência da substância para espécies herbívoras. Peixes zebra também apresentam alta sensibilidade ao medicamento, principalmente no estágio juvenil, faixa em que foram observadas as maiores taxas de mortalidade (Oliveira *et al.*, 2016). Prasse, Löffler e Ternes (2009) investigaram o comportamento da ivermectina em um sistema aeróbio composto por água/sedimento. Foi verificado que a alta afinidade da ivermectina pelo sedimento resultou na migração de 75% do fármaco inserido na fase aquosa para a fase sólida em menos de 24 h. O estudo indica



que a ivermectina é persistente no ambiente. Sua degradação, entretanto, é favorecida pela exposição a luz.

## **DETERMINAÇÃO DE HIDROXICLOROQUINA, AZITROMICINA E IVERMECTINA EM COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS (2020 – 2022)**

Devido ao aumento expressivo no consumo dos medicamentos citados, a literatura apresenta dados recentes de determinação dessas espécies em efluente doméstico. Aydin *et al.* (2022) avaliou a presença e sazonalidade de 36 fármacos no lodo de esgoto doméstico anaerobicamente digerido em Kynoa, na Turquia. Dentre os medicamentos identificados 49% pertencem a classe dos anti-inflamatórios e analgésicos e, 31% a classe dos antibióticos. Nos 20% restantes encontram-se fármacos utilizados no tratamento de câncer, psicotrópicos, beta-bloqueadores e reguladores lipídicos. O fármaco presente em maior concentração, de  $1496 \mu\text{g kg}^{-1}$ , foi a claritromicina, seguida da azitromicina, com concentração de  $1494 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Os anti-inflamatórios e analgésicos encontrados em maior concentração foram: ácido acetilsalicílico, acetaminofeno, ibuprofeno e naproxeno. Quanto a sazonalidade, anti-inflamatórios e analgésicos foram determinados em concentrações semelhantes durante todo período analisado, enquanto os antibióticos apresentaram aumento expressivo na concentração durante os meses de inverno. O estudo constatou que a digestão anaeróbica do efluente doméstico não é um tratamento eficaz para remoção desses fármacos, e reforçou a necessidade do aprimoramento de técnicas para remoção das espécies.

Nason *et al.* (2021) analisou o efluente doméstico recebido pela estação de tratamento de New Heaven, Connecticut, no período de 19 de março a 30 de junho de 2020. O estudo constatou a influência da primeira onda da pandemia na composição do efluente. Foi verificada a presença de hidroxiclороquina no lodo analisado, e embora não apresentasse uma tendência, foi observado um aumento significativo de sua concentração na terceira semana do estudo. A presença de azitromicina no lodo também foi confirmada. Entretanto, observou-se a diminuição da concentração do medicamento durante o período analisado. Também foram identificadas seis espécies relacionadas a desinfetantes, cujo aumento da concentração no lodo de esgoto se relaciona com a pandemia. O triclocarban, antibacteriano usado em produtos de higiene, especialmente em sabonetes, apresentou aumento aparente na concentração diária determinada. Foram identificados sete antidepressivos nas amostras analisadas. Foi confirmada a presença e o aumento nas concentrações de sertralina, citalopram, doxepina e amitriptilina, correspondendo ao aumento no número de vendas de antidepressivos observada nesse período.

Domingo-Echaburu *et al.* (2022), avaliou a concentração de medicamentos relacionados a covid-19 na ETE de Vitoria-Gasteiz, Espanha, durante a primeira onda da pandemia. Foram coletadas amostras na entrada e saída da estação de tratamento. Para a hidroxiclороquina, foi encontrada concentração máxima de  $0,071 \mu\text{g L}^{-1}$  na água residual da estação de tratamento, enquanto a maior concentração verificada para a azitromicina foi de  $0,073 \mu\text{g L}^{-1}$ , também na saída da ETE. Os antivirais lipovir e ritonavir foram quantificados nas amostras da entrada e saída da estação, enquanto a hidroxiclороquina e azitromicina foram quantificadas majoritariamente nas amostras da coletadas na saída da estação. Os



autores atribuem tal diferença ao efeito de matriz ser possivelmente maior nas amostras coletadas na entrada da ETE, tornando mais difícil a quantificação de espécies em baixas concentrações. Para estimar os riscos eco toxicológicos associados aos fármacos identificados, foi calculado o coeficiente de risco para as espécies com base nas concentrações determinadas. Foi estimado risco baixo para os antivirais e hidroxiclороquina. Entretanto, para a azitromicina foi estimado risco moderado.

Em Atenas, na Grécia, Galani *et al.* (2021) analisou diariamente o efluente recebido pela estação de tratamento em março de 2019, período pré pandemia, e março de 2020, durante o lockdown. As concentrações dos fármacos identificados, assim como a vazão do efluente analisado, a biodisponibilidade, a porcentagem de excreção de cada medicamento, a população local e os parâmetros físico-químicos da matriz foram utilizados para estimar o consumo diário de cada substância. Durante o período de lockdown, foram observados os aumentos de 387% no consumo de hidroxiclороquina e 36,3% no consumo de azitromicina. O consumo de antibióticos, com exceção da azitromicina, apresentou aumento de 61%. O aumento do consumo de fármacos antivirais foi de 170%, e do analgésico paracetamol foi de 198%. Os fármacos que apresentaram diminuição no consumo foram anti-hipertensivos, betabloqueadores, antiarrítmicos e anti-inflamatórios não esteroides. As variações no consumo de medicamentos podem ser relacionadas as mudanças ocasionadas pela pandemia. O aumento no número de casos e a utilização de medicamentos para tratamento e prevenção do covid-19 pode ser relacionado ao aumento do consumo observado para os medicamentos. A diminuição do consumo de alguns fármacos pode estar relacionada a certa dificuldade de aquisição dos mesmos, por se tratar de um período de lockdown.

Capelli *et al.* (2022) coletou amostras de entrada e saída de três ETE da região urbana de Milano e Monza, na Itália, que em conjunto atendem uma população próxima a 2 milhões de pessoas. O estudo foi realizado no período de abril a dezembro de 2020. Quatro medicamentos relacionados a covid-19 foram identificados nas análises, dentre eles a hidroxiclороquina e azitromicina. Quando comparadas as emissões médias diárias per capita de cada estação, uma apresentou maiores concentrações dos fármacos analisados. O efluente do hospital de Monza, que recebeu os pacientes de uma das regiões mais afetadas do país, é direcionado para a estação que apresentou concentrações mais elevadas de hidroxiclороquina e azitromicina. O estudo confirmou que as elevadas concentrações de ambos os fármacos observadas na estação estavam relacionadas ao recebimento do efluente hospitalar. A maior concentração de hidroxiclороquina,  $1777 \text{ ng L}^{-1}$ , foi observada durante a primeira onda da pandemia. A azitromicina apresentou concentração máxima de  $13202 \text{ ng L}^{-1}$ , observada durante a segunda onda. Para as estações em questão, as concentrações de ambos os fármacos apresentaram correlação significativa com o número de casos e mortes ocasionados pela doença na região durante o período observado.

Embora as propriedades químicas dos contaminantes emergentes sejam conhecidas, a faixa de concentração e a complexidade das matrizes restringe as técnicas possíveis para sua determinação no ambiente. Isso dificulta a aquisição de informações sobre ocorrência, comportamento e avaliações de risco eco toxicológico dessas substâncias (Taheran *et al.*, 2018). A análise de fármacos é comumente realizada por técnicas cromatográficas, destacando-se a cromatografia líquida (CL). De acordo com Siddiqui, Alothman e Rahman (2017) a CL é uma das técnicas mais indicadas para análise de acordo com as farmaco-

peias europeia e estadunidense. Os avanços instrumentais levaram ao desenvolvimento de técnicas de separação mais avançadas, como a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e cromatografia líquida de ultra eficiência (CLUE). O acoplamento de técnicas de separação a técnicas de quantificação espectroscópicas recebe o nome de “técnicas hífenadas”, como por exemplo a cromatografia líquida acoplada a espectrômetro de massas (CL-EM) e cromatografia líquida de alta eficiência acoplada a detector fluorescência (CLAE-FLU), amplamente utilizadas para a quantificação de fármacos (Machado *et al.*, 2016; Perin *et al.*, 2021; Siddiqui, Alothman e Rahman, 2017). A tabela 1 apresenta as técnicas empregadas na quantificação de hidroxicloroquina, azitromicina, e outros fármacos em efluente doméstico.

**Tabela 1 - Técnicas utilizadas para quantificação de fármacos, com foco em hidroxicloroquina e azitromicina, matriz analisada e limites de detecção (LD) e/ou limites de quantificação (LQ).**

Fármacos	Matriz	Técnica	Limites	Referência
Azitromicina, claritromicina, ciprofloxacina, doxiciclina, oxitetraciclina, sulfametoxazol, clorotetraciclina, eritromicina, sulfametazina, trimetoprima, acetaminofeno, ácido acetil salicílico, codeína, ibuprofeno, diclofenaco, cetoprofeno; Demais analgésicos e anti-inflamatórios, betabloqueadores, reguladores lipídicos, psicotrópicos e medicamentos relacionados ao tratamento de câncer	Lodo de esgoto	CL-EM	LD: 0,001 a 19,2 µg L <sup>-1</sup> LQ: 0,006 a 64,1 µg L <sup>-1</sup>	Aydin <i>et al.</i> , 2022
Hidroxicloroquina, azitromicina, acetaminofeno, amissulprida, carbamazepina, darunavir, irbersartana, metropolol, ciprofloxacina, claritromicina, eritromicina, lincomicina, norfloxacina, ofloxacina, trimetoprima e cafeína	Esgoto	CLUE-EM	LQ: 50 ng L <sup>-1</sup>	Capelli <i>et al.</i> , 2022
Hidroxicloroquina, azitromicina, lipovir e ritonavir	Esgoto	CLUE-EM	LD: 2,0 a 9,7 ng L <sup>-1</sup> LQ: 9,4 a 32,5 ng L <sup>-1</sup>	Domingo-Echaburu <i>et al.</i> , 2022
Hidroxicloroquina, azitromicina, paracetamol; Demais medicamentos antibióticos, antivirais, anti-hipertensivos, antiarrítmicos, betabloqueadores e anti-inflamatórios não esteroides	Esgoto	CL-EM CLUE-EM	LD: 0,025 µg L <sup>-1</sup> *	Galani <i>et al.</i> , 2021
Hidroxicloroquina, azitromicina, acetaminofeno, doxepina, amitriptilina, citalopram, sertralina, trazodona, venlafaxina, clozapina, raltegravir, darunavir, zalcitabina; Demais antibióticos, opióides, antiarrítmicos, anticonvulsivantes, antialérgicos, anti-hipertensivos, betabloqueadores, analgésicos e hormônios	Lodo de esgoto	CLUE-EM	LD: 0,1 a 100 ng mL <sup>-1</sup>	Nason <i>et al.</i> , 2021
Azitromicina, claritromicina, eritromicina, norfloxacina, ofloxacina, ciprofloxacina; Demais 66 fármacos antivirais, antibióticos e glucocorticóides	Águas superficiais e sedimento	CLUE-EM	LD <sub>a</sub> : 0,02 a 0,92 ng L <sup>-1</sup> LQ <sub>a</sub> : 0,05 a 2,76 ng L <sup>-1</sup> LD <sub>s</sub> : 0,01 a 0,46 ng g <sup>-1</sup> LQ <sub>s</sub> : 0,03 a 1,38 ng g <sup>-1</sup>	Chen <i>et al.</i> , 2021

\* limite de detecção referente a CL-EM; LD<sub>a</sub> e LQ<sub>a</sub> limites de detecção e quantificação em águas superficiais; LD<sub>s</sub> e LQ<sub>s</sub> limites de detecção e quantificação em sedimento; CL-EM = cromatografia líquida acoplada a espectrômetro de massas; CLUE-EM = cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada a espectrômetro de massas.

Fonte: Autoria própria (2022)

O emprego de técnicas eletroquímicas para análises qualitativas e quantitativas de fármacos vem aumentando ao longo dos anos. A literatura reporta o uso de métodos eletroquímicos para determinação de azitromicina e hidroxicloroquina em matrizes biológicas e fármacos (Arguelho, Andrade e Stradiotto, 2003; Guerra e Cestarolli, 2021; Mahnashi *et al.*, 2021; Palomeque e Ortíz, 2007; Saka, 2022; Stoian *et al.*, 2020). Bandala *et al.* (2021) aponta a necessidade de metodologias para determinação de medicamentos relacionados a covid-19 e demais fármacos em matrizes ambientais, considerando o uso de técnicas eletroquímicas para tal finalidade. Dentre as vantagens indicadas pelos autores destaca-se que o emprego de técnicas eletroquímicas facilitaria análises *in situ*, proporcionando maiores condições para o monitoramento dessas espécies em ETEs.

## TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE HIDROXICLOROQUINA, AZITROMICINA E IVERMECTINA

A remoção de fármacos presentes no efluente doméstico pode envolver processos físicos, químicos ou biológicos, sendo necessário avaliar a eficiência, viabilidade econômica, estrutural e de materiais necessários. Devido ao aumento da preocupação em torno da presença de substâncias farmacológicas em efluentes e águas superficiais, novas técnicas de tratamento, visando maior eficácia na remoção dessas espécies, vem sendo desenvolvidas (Albornoz, Soroka e Silva, 2021; Morales-Paredes, Rodríguez-Díaz e Boluda-Botella, 2021). A tabela 2 apresenta alguns tratamentos utilizados para remoção de hidroxicloroquina, azitromicina e ivermectina reportados na literatura para diferentes matrizes.

**Tabela 2 - Eficiência de tratamentos reportados na literatura para remoção de azitromicina, hidroxicloroquina e ivermectina em matrizes ambientais e soluções aquosas.**

Fármaco	Tratamento	Concentração	Matriz	Eficiência	Referência
Azitromicina	Microalga	20, 50 e 100 $\mu\text{g L}^{-1}$	Efluente sintético	78%	Kiki <i>et al.</i> , 2020
	Fotocatálise heterogênea (UV e $\text{TiO}_2$ )	Condições controladas: 227 $\text{ng L}^{-1}$ exposição ao sol: 250 $\text{ng L}^{-1}$	Efluente doméstico	Condições controladas: 58,1% exposição ao sol: 87,2%	Rueda-Márquez <i>et al.</i> , 2020
	Degradação fotocatalítica por UV-LED associada a $\text{BiVO}_4$ dopado com $\text{Gd}^{3+4}$	892 $\pm$ 186,8 $\text{ng L}^{-1}$	Efluente doméstico	62,9% em 3 h	Orona-Návar <i>et al.</i> , 2020
	Reator biológico de membrana associado a nanofiltração/osmose reversa	954 $\mu\text{g L}^{-1}$	Efluente doméstico	80,08% a 99,9%	Racar <i>et al.</i> , 2020
	Processo foto-fenton com exposição a luz solar	25 $\text{ng L}^{-1}$	Efluente tratado	24% em 3 h	Fiorentino <i>et al.</i> , 2019
	Adsorção por carvão ativado	0.11 $\pm$ 0.18 $\mu\text{g L}^{-1}$	Efluente hospitalar pré-tratado em biorreator com membrana	100%	Kovalova <i>et al.</i> , 2013
	Liquefação hidrotérmica	30,6 $\mu\text{g kg}^{-1}$	Lodo de esgoto	99,80%	Thomsen <i>et al.</i> , 2020
	Pântanos artificiais	709 $\pm$ 544 $\text{ng L}^{-1}$	Efluente tratado	97%	Bayati <i>et al.</i> , 2021

Fármaco	Tratamento	Concentração	Matriz	Eficiência	Referência
Hidroxicloroquina	Adsorção por kaolin	5 a 50 mg L <sup>-1</sup>	Solução aquosa	Capacidade de adsorção = 51 mg g <sup>-1</sup>	Bendjeffal <i>et al.</i> , 2021
	Degradação eletroquímica fotoassistida	5 a 50 mg L <sup>-1</sup>	Solução aquosa	100% em 1 h	Bensalah <i>et al.</i> , 2020
	Fotodegradação com radiação solar artificial	0,0003 mol L <sup>-1</sup>	Águas superficiais	99 a 100%	Dabić, Babić e Škorić, 2019
	Degradação catalisada por persulfato e biocarvão de lama vermelha	20 mg L <sup>-1</sup>	Solução aquosa	87,7% em 40 min	Guo <i>et al.</i> , 2022
Ivermectina	Adsorção por argila e biomaterial	100 a 600 µg L <sup>-1</sup>	Solução aquosa	Concentração inferior a 20 µg L <sup>-1</sup> após processo de adsorção	Olu-Owolabi <i>et al.</i> , 2021
	Fotocatálise heterogênea (UV e TiO <sub>2</sub> )	10 mg L <sup>-1</sup>	Solução aquosa	90% em 4 h	Havlíková; Šatínský e Solich, 2016
	Oxidação pelo íon ferrato (VI)	100 µg L <sup>-1</sup>	Água torneiral	25%	Patibandla, Jiang e Shu, 2018

Fonte: Autoria própria, 2022.

A partir da tabela 2 é possível verificar que o número de estudos voltados para remoção da azitromicina é superior, e envolve maior diversidade de matrizes, faixas de concentração e variedade de técnicas. Adsorção e fotocatalise foram estudadas para remoção de AZT, HCQ e IVM, mostrando resultados satisfatórios. Porém, faltam técnicas para remoção de hidroxycloroquina e ivermectina de matrizes complexas, como efluentes ou lodo de esgoto. É possível que os processos de remoção da AZT tenham sido mais explorados por se tratar de um antibiótico, classe de fármacos cujo os riscos ambientais já despertaram maior atenção quando comparada a HCQ e IVM. Tais dados também possibilitam destacar a necessidade do desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de remoção de moléculas persistentes, como fármacos, sendo esse um dos muitos desafios envolvendo contaminantes emergentes na atualidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos da covid-19 foram sentidos em diversas esferas da sociedade, sendo evidenciados os impactos na economia, cultura e política. Entretanto, até o presente, pouco se conhece sobre o impacto ambiental relacionado a pandemia. A escassez de informações sobre a presença e comportamento dos medicamentos relacionados a covid-19 no ambiente reforça a necessidade de estudos para identificar e sanar, ou atenuar, os problemas ambientais associados a esse período.

Dentre os fármacos utilizados no Brasil para tratamento e prevenção da doença, destacam-se a hidroxycloroquina, azitromicina e ivermectina. Com exceção da azitromicina, antibiótico comumente utilizado há décadas, as demais espécies ganharam evidência em decorrência da pandemia, e até o momento pouco foi investigado quanto sua ocorrência em matrizes ambientais. A técnica majoritariamente utilizada para a detecção dessas espécies é a cromatografia líquida, em especial a CLUE-MS, por otimizar a separação e possibilitar a identificação de diversas substâncias contidas na amostra.

Embora os riscos associados a presença desses fármacos no meio possam ser estimados, há escassez de informações sobre o impacto da disposição dessas espécies no ambiente. Até o presente, pouco se encontra também sobre técnicas eficazes de remoção, principalmente de hidroxicloroquina e ivermectina, em matrizes ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ALBORNOZ, Louidi Lauer; SOROKA, Vinícius Duarte; SILVA, Maria Cristina de Almeida. **Photo-mediated and advanced oxidative processes applied for the treatment of effluents with drugs used for the treatment of early covid-19**. Environmental Advances, v. 6, p. 100140, 2021.
- ALI, Manel Ben *et al.* **Toxicity of hydroxychloroquine, a potential treatment for covid-19, on free-living marine nematodes**. Marine Pollution Bulletin, v. 167, p. 112361, 2021.
- ARGUELHO, Maria Lara PM; ANDRADE, José F.; STRADIOTTO, Nelson R. **Electrochemical study of hydroxychloroquine and its determination in plaquenil by differential pulse voltammetry**. Journal of pharmaceutical and biomedical analysis, v. 32, n. 2, p. 269-275, 2003.
- AYDIN, Senar *et al.* **Pharmaceutical residues in digested sewage sludge: Occurrence, seasonal variation and risk assessment for soil**. Science of The Total Environment, p. 152864, 2022.
- BANDALA, Erick R. *et al.* **Impacts of covid-19 pandemic on the wastewater pathway into surface water: A review**. Science of the Total Environment, v. 774, p. 145586, 2021.
- BAKHEIT, Ahmed HH; AL-HADIYA, Badraddin MH; ABD-ELGALIL, Ahmed A. **Azithromycin**. Profiles of drug substances, excipients and related methodology, v. 39, p. 1-40, 2014.
- BAYATI, Mohamed *et al.* **Assessing the efficiency of constructed wetlands in removing PPCPs from treated wastewater and mitigating the ecotoxicological impacts**. International Journal of Hygiene and Environmental Health, v. 231, p. 113664, 2021.
- BENDJEFFAL, Hacene *et al.* **Adsorption and removal of hydroxychloroquine from aqueous media using Algerian kaolin: full factorial optimisation, kinetic, thermodynamic, and equilibrium studies**. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, p. 1-22, 2021.
- BENSALAH, Nasr *et al.* **Degradation of hydroxychloroquine by electrochemical advanced oxidation processes**. Chemical Engineering Journal, v. 402, p. 126279, 2020.
- BILA, Daniele Maia; DEZOTTI, Márcia. **Pharmaceutical drugs in the environment**. Química Nova, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 15 de junho de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília. Disponível em [http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf). Acessado em 28 de junho de 2022.
- CANGA, Aránzazu González *et al.* **The pharmacokinetics and metabolism of ivermectin in domestic animal species**. The Veterinary Journal, v. 179, n. 1, p. 25-37, 2009.

CAPPELLI, Francesca *et al.* **Suspect screening of wastewaters to trace anti-covid-19 drugs: Potential adverse effects on aquatic environment.** *Science of The Total Environment*, v. 824, p. 153756, 2022.

CHEN, Xiangping *et al.* **Occurrence and risk assessment of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) against covid-19 in lakes and WWTP-river-estuary system in Wuhan, China.** *Science of The Total Environment*, v. 792, p. 148352, 2021.

DABIĆ, Dario; BABIĆ, Sandra; ŠKORIĆ, Irena. **The role of photodegradation in the environmental fate of hydroxychloroquine.** *Chemosphere*, v. 230, p. 268–277, 2019.

DA LUZ, Thiarlen Marinho *et al.* **Can use of hydroxychloroquine and azithromycin as a treatment of covid-19 affect aquatic wildlife? A study conducted with neotropical tadpole.** *Science of The Total Environment*, v. 780, p. 146553, 2021.

DELLA PORTA, Alessandra *et al.* **Acute chloroquine and hydroxychloroquine toxicity: A review for emergency clinicians.** *The American Journal of Emergency Medicine*, v. 38, n. 10, p. 2209-2217, 2020.

DOMINGO-ECHABURU, S. *et al.* **Drugs used during the covid-19 first wave in Vitoria-Gasteiz (Spain) and their presence in the environment.** *Science of The Total Environment*, p. 153122, 2022.

FARTO, Cindy Deina *et al.* **Contaminantes Emergentes no Brasil na Década 2010-2019—Parte I: Ocorrência em Diversos Ambientes Aquáticos.** *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 18, n. 2021, 2021.

FIRTH, Anton; PRATHAPAN, Praveen. **Azithromycin: the first broad-spectrum Therapeutic.** *European journal of medicinal chemistry*, v. 207, p. 112739, 2020.

FIORENTINO, Antonino *et al.* **Effect of solar photo-Fenton process in raceway pond reactors at neutral pH on antibiotic resistance determinants in secondary treated urban wastewater.** *Journal of hazardous materials*, v. 378, p. 120737, 2019.

GALANI, Aikaterini *et al.* **Patterns of pharmaceuticals use during the first wave of covid-19 pandemic in Athens, Greece as revealed by wastewater-based epidemiology.** *Science of The Total Environment*, v. 798, p. 149014, 2021.

GUERRA, E. M.; CESTAROLLI, D. T. **Azithromycin electrochemical detection using a VO<sub>2</sub> thin film.** *Journal of Alloys and Compounds*, v. 885, p. 160997, 2021.

GUO, Ziwei *et al.* **Effective degradation of covid-19 related drugs by biochar-supported red mud catalyst activated persulfate process: Mechanism and pathway.** *Journal of Cleaner Production*, v. 340, p. 130753, 2022.

GRAVESEN, Caleb; JUDY, Jonathan D. **Effect of biosolids characteristics on retention and release behavior of azithromycin and ciprofloxacin.** *Environmental Research*, v. 184, p. 109333, 2020.

HALLEY, Bruce A.; JACOB, Theodore A.; LU, Anthony YH. **The environmental impact of the use of ivermectin: environmental effects and fate.** *Chemosphere*, v. 18, n. 7-8, p. 1543-1563, 1989.



HAVLÍKOVÁ, Lucie; ŠATÍNSKÝ, Dalibor; SOLICH, Petr. **Aspects of decontamination of ivermectin and praziquantel from environmental waters using advanced oxidation technology.** Chemosphere, v. 144, p. 21-28, 2016.

JAVORAC, Dragana *et al.* **An overview of the safety assessment of medicines currently used in the covid-19 disease treatment.** Food and Chemical Toxicology, v. 144, p. 111639, 2020.

JUNIOR, Ismael Laurindo Costa; PLETSCHE, Adelmo L.; TORRES, Yohandra R. **Ocorrência de fármacos antidepressivos no meio ambiente-revisão.** Revista Virtual de Química, v. 6, n. 5, p. 1408-1431, 2014.

KHAN, Shamshad *et al.* **Emerging contaminants of high concern for the environment: Current trends and future research.** Environmental Research, v. 207, p. 112609, 2022.

KHOSHNOOD, Saeed *et al.* **Antiviral effects of azithromycin: A narrative review.** Biomedicine & Pharmacotherapy, v. 147, p. 112682, 2022.

KIKI, Claude *et al.* **Dissipation of antibiotics by microalgae: kinetics, identification of transformation products and pathways.** Journal of Hazardous Materials, v. 387, p. 121985, 2020.

KLEIN, Eili Y. *et al.* **Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015.** Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 115, n. 15, p. E3463-E3470, 2018.

KOVALOVA, Lubomira *et al.* **Elimination of micropollutants during post-treatment of hospital wastewater with powdered activated carbon, ozone, and UV.** Environmental science & technology, v. 47, n. 14, p. 7899-7908, 2013.

KUMAR, Rajnish *et al.* **Hydroxychloroquine in covid-19: therapeutic promises, current status, and environmental implications.** Environmental Science and Pollution Research, v. 28, n. 30, p. 40431-40444, 2021.

LIMA, Eder C. *et al.* **Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption.** Ecotoxicology and environmental safety, v. 150, p. 1-17, 2018.

LOPES, Thiara Reis *et al.* **Antibiotic resistance in E coli isolated in effluent from a wastewater treatment plant and sediments in receiver body.** International Journal of River Basin Management, v. 14, n. 4, p. 441-445, 2016.

MACHADO, Kelly C. *et al.* **A preliminary nationwide survey of the presence of emerging contaminants in drinking and source waters in Brazil.** Science of the Total Environment, v. 572, p. 138-146, 2016.

MAHNASHI, H. Mater *et al.* **Simultaneous electrochemical detection of azithromycin and hydroxychloroquine based on VS2 QDs embedded N, S@ graphene aerogel/cCNTs 3D nanostructure.** Microchemical Journal, v. 163, p. 105925, 2021.

MELO, José Romério Rabelo *et al.* **Automedicação e uso indiscriminado de medicamentos durante a pandemia da covid-19.** Cadernos de Saúde Pública, v. 37, 2021.

MENDONÇA-GOMES, Juliana Moreira *et al.* **Environmental impacts of covid-19 treatment: Toxicological evaluation of azithromycin and hydroxychloroquine in adult zebrafish.** Science of The Total Environment, v. 790, p. 148129, 2021.

MORALES-PAREDES, Carlos Augusto; RODRÍGUEZ-DÍAZ, Joan Manuel; BOLUDA-BOTELLA, Nuria. **Pharmaceutical compounds used in the covid-19 pandemic: A review of their presence in water and treatment techniques for their elimination.** Science of the Total Environment, p. 152691, 2021.

NASON, Sara L. *et al.* **Changes in Sewage Sludge Chemical Signatures During a covid-19 Community Lockdown, Part 1: Traffic, Drugs, Mental Health, and Disinfectants.** Environmental toxicology and chemistry, 2021.

OLU-OWOLABI, Bamidele I. *et al.* **Utilizing eco-friendly kaolinite-biochar composite adsorbent for removal of ivermectin in aqueous media.** Journal of Environmental Management, v. 279, p. 111619, 2021.

ORONA-NÁVAR, Carolina *et al.* **Removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) and bacteria inactivation from urban wastewater effluents by UVA-LED photocatalysis with Gd<sup>3+</sup>-doped BiVO<sub>4</sub>.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 8, n. 6, p. 104540, 2020.

PALOMEQUE, Miriam E.; ORTÍZ, Patricia I. **New automatized method with amperometric detection for the determination of azithromycin.** Talanta, v. 72, n. 1, p. 101-105, 2007.

PARNHAM, Michael J. *et al.* **Azithromycin: mechanisms of action and their relevance for clinical applications.** Pharmacology & therapeutics, v. 143, n. 2, p. 225-245, 2014.

PATIBANDLA, Srinath; JIANG, Jia-Qian; SHU, Xinhau. **Toxicity assessment of four pharmaceuticals in aquatic environment before and after ferrate (VI) treatment.** Journal of environmental chemical engineering, v. 6, n. 4, p. 3787-3797, 2018.

PERIN, Maurício *et al.* **Pharmaceuticals, pesticides and metals/metalloids in Lake Guaíba in Southern Brazil: Spatial and temporal evaluation and a chemometrics approach.** Science of The Total Environment, v. 793, p. 148561, 2021.

PORUBCIN, Stefan *et al.* **Intravenous veterinary ivermectin in covid-19 patient causing neurotoxicity.** IDCases, v. 27, p. e01446, 2022.

PRASSE, Carsten; LÖFFLER, Dirk; TERNES, Thomas A. **Environmental fate of the anthelmintic ivermectin in an aerobic sediment/water system.** Chemosphere, v. 77, n. 10, p. 1321-1325, 2009.

RACAR, M. *et al.* **Challenges of municipal wastewater reclamation for irrigation by MBR and NF/RO: Physico-chemical and microbiological parameters, and emerging contaminants.** Science of the Total Environment, v. 722, p. 137959, 2020.

RATHI, B. Senthil; KUMAR, P. Senthil; SHOW, Pau-Loke. **A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: Current trends and scope for further research.** Journal of Hazardous Materials, v. 409, p. 124413, 2021.

RUEDA-MÁRQUEZ, Juan José *et al.* **Photocatalytic degradation of pharmaceutically active compounds (PhACs) in urban wastewater treatment plants effluents under controlled and natural solar irradiation using immobilized TiO<sub>2</sub>.** Solar Energy, v. 208, p. 480-492, 2020.

SAKA, Cafer. **Analytical methods on determination in pharmaceuticals and biological materials of Chloroquine as available for the treatment of covid-19.** Critical Reviews in Analytical Chemistry, v. 52, n. 1, p. 19-34, 2022.

SALGADO, Mariana AR *et al.* **Evaluation of the potential environmental risk from the destination of medicines: an epidemiological and toxicological study.** DARU Journal of Pharmaceutical Sciences, v. 29, n. 1, p. 61-71, 2021.

SASSMAN, Stephen A.; LEE, Linda S. **Sorption of three tetracyclines by several soils: assessing the role of pH and cation exchange.** Environmental science & technology, v. 39, n. 19, p. 7452-7459, 2005.

SHARMA, Bhavisha *et al.* **Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant grown.** Waste Management, v. 64, p. 117-132, 2017.

SRIHARI, Priya *et al.* **Massive Nonfatal Hydroxychloroquine Ingestion in a Pediatric Patient.** The Journal of Emergency Medicine, 2022.

SIDDIQUI, Masoom Raza; ALOTHMAN, Zeid A.; RAHMAN, Nafisur. **Analytical techniques in pharmaceutical analysis: A review.** Arabian Journal of chemistry, v. 10, p. S1409-S1421, 2017.

SIDHU, Harmanpreet; D'ANGELO, Elisa; O'CONNOR, George. **Retention-release of ciprofloxacin and azithromycin in biosolids and biosolids-amended soils.** Science of The Total Environment, v. 650, p. 173-183, 2019.

STOIAN, Ioan-Adrian *et al.* **Biomimetic electrochemical sensor for the highly selective detection of azithromycin in biological samples.** Biosensors and Bioelectronics, v. 155, p. 112098, 2020.

SUNDARARAMAN, Sathish *et al.* **Emerging pharma residue contaminants: Occurrence, monitoring, risk and fate assessment.** A challenge to water resource management. Science of The Total Environment, v. 825, p. 153897, 2022.

TAHERAN, Mehrdad *et al.* **Emerging contaminants: here today, there tomorrow!** Environmental nanotechnology, monitoring & management, v. 10, p. 122-126, 2018.

THOMSEN, Lars Bjørn Silva *et al.* **Hydrothermal liquefaction of sewage sludge; energy considerations and fate of micropollutants during pilot scale processing.** Water Research, v. 183, p. 116101, 2020.

TILELLI, John A.; SMITH, Kathleen M.; PETTIGNANO, Robert. **Life-Threatening Bradyarrhythmia After Massive Azithromycin Overdose.** Pharmacotherapy: The Journal of Human Pharmacology and Drug Therapy, v. 26, n. 1, p. 147-150, 2006.

VASUDEVAN, Dharni *et al.* **PH-dependent ciprofloxacin sorption to soils: Interaction mechanisms and soil factors influencing sorption.** Geoderma, v. 151, n. 3-4, p. 68-76, 2009.

VERAS, Tatiane Barbosa *et al.* **Analysis of the presence of anti-inflammatories drugs in surface water: A case study in Beberibe river-PE, Brazil.** Chemosphere, v. 222, p. 961-969, 2019.

WANG, Lu *et al.* **Behavior of tetracycline and macrolide antibiotics in activated sludge process and their subsequent removal during sludge reduction by ozone.** Chemosphere, v. 206, p. 184-191, 2018.

WARHURST, David C. *et al.* **Hydroxychloroquine is much less active than chloroquine against chloroquine-resistant Plasmodium falciparum, in agreement with its physicochemical properties.** Journal of Antimicrobial Chemotherapy, v. 52, n. 2, p. 188-193, 2003.

WENWEN, Gong *et al.* **Quantitatively modeling soilr water distribution coefficients of three antibiotics using soil physicor chemical properties.** Chemosphere, v. 89, n. 7, p. 825-831, 2012.

ZAHEER, Tean *et al.* **Covid-19 and Ivermectin: Potential threats associated with human use.** Journal of Molecular Structure, v. 1243, p. 130808, 2021.

# Contaminação de recursos hídricos por metais pesados

## Heavy metal contamination in water resources

**Ana Paula Barbosa Cavalcanti**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5001-7082>*

**Elannie Salvina Costa da Silva**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8518-9350>*

**Maria Karollyne dos Santos Paiva**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6258-3585>*

**Palloma Maria Jacinto de Melo**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-3532>*

**Eliana Cristina Barreto Monteiro**

*UPE; Escola ICAM TECH-UNICAP; Universidade de Pernambuco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>*

**Galba Maria Campos-Takaki**

*Escola ICAM TECH; Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS, MCTI/UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>*

### RESUMO

Uma das maiores preocupações globais é a contaminação dos recursos hídricos por metais pesados, causando impactos ambientais, socioeconômicos e a saúde humana com o descarte indevido pelas atividades industriais e de minerações. Cada metal pesado apresenta diferentes características e toxicidade, ocasionando diferentes problemas a saúde, redução da qualidade de vida, além da desvalorização da área, causando biomagnificação e bioacumulação na água e em alimentos por diferentes metais pesados. No Brasil, os metais pesados mais encontrados em maior percentual nos recursos hídricos são o mercúrio, cromo e chumbo e por conta desse aumento, políticas foram criadas com o intuito de conscientizar e reduzir a contaminação nos recursos hídricos, segundo a Lei de Política Nacional de Recursos Hídricos. Com a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, e o Conselho Nacional do Meio Ambiente, valores máximos foram permitidos dos metais nos recursos hídricos no país. Assim protocolos eficazes foram criados para o monitoramento e preservação de áreas contaminadas, identificando as fontes de contaminação e as áreas afetadas para assim analisar e implementar algumas formas de remediações que tragam uma maior efetividade nos tratamentos os metais, podendo ser tratados por metodologias convencionais e não convencionais. No Brasil a metodologia mais utilizada é a biossorção,



como tratamento não convencional para o cromo, chumbo e mercúrio, no qual esses biosorventes são capazes de ser removidos em torno de 74% a 90% de metais, possibilitando assim uma estratégia para a diminuição dos efeitos negativos causados pelos metais pesados, com intuito de realizar uma abordagem mais eficaz e sustentável para diferentes regiões.

**Palavras-chave:** recursos hídricos; metais pesados; impacto socioeconômico; mudanças climáticas.

## ABSTRACT

One of the biggest global concerns is the contamination of water resources by heavy metals, causing environmental, socioeconomic, and human health impacts through improper disposal by industrial and mining activities. Each heavy metal has different characteristics and toxicity, causing different health problems, reducing the quality of life, in addition to devaluing the area, causing biomagnification and bioaccumulation in water and food by different heavy metals. In Brazil, the heavy metals most found in the highest percentage in water resources are mercury, chromium, and lead and because of this increase, policies were created with the aim of raising awareness and reducing contamination in water resources, according to the National Health Policy Law. Water resources. With the creation of the National Agency for Water and Basic Sanitation, and the National Council for the Environment, maximum values were allowed for metals in water resources in the country. Thus, effective protocols were created for the monitoring and preservation of contaminated areas, identifying the sources of contamination and the affected areas to analyze and implement some forms of remediation that bring greater effectiveness in the treatments of metals, which can be treated by conventional methodologies and not conventional. In Brazil, the most used methodology is biosorption, as an unconventional treatment for chromium, lead and mercury, in which these biosorbents can remove around 74% to 90% of metals, thus enabling a strategy to reduce negative effects caused by heavy metals, with the aim of implementing a more effective and sustainable approach for different regions.

**Keywords:** water resources; heavy metals; socio-economic impact; climate change.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital para a vida e principalmente para o equilíbrio ambiental. No entanto, vários problemas relacionados a água que iram afetar a sua acessibilidade e qualidade, a escassez por exemplo é uma delas, é um problema que afeta diversos países em desenvolvimento, isso é devido ao crescimento populacional em áreas urbanas sobrecarregando os sistemas de abastecimentos e ocasionando crises hídricas, em especial nas regiões áridas e semiáridas. Além disso, outro problema relacionando a água é contaminação, devido a ações antrópicas, por meio da dispersão de substancias industriais no solo ou na água, em sua maioria são metais pesados que podem prejudica o ecossistema marinho, como também a saúde humana.



Atualmente, mais de 200 milhões de pessoas em todo o mundo estão expostas à poluição tóxica em níveis superiores aos tolerados pelas organizações internacionais de saúde. Essas populações vivem em regiões contaminadas por metais pesados, pesticidas e até por substâncias radioativas (Blacksmith Institute, 2022).

Tanto no Brasil quanto na União Europeia, as políticas de água são delineadas em normas e programas que objetivam o bem comum da água, os múltiplos usuários e interesses envolvidos, fundamentais na qualidade e na quantidade dos recursos hídricos (Faria e Padovesi-Fonseca, 2020). No entanto, isso não é visto na prática, especialmente no Brasil.

Estudos atuais indicam que a concentração de metais pesados encontradas em sedimentos e em rios é, ainda, muito maior do que a esperada. Dentro do escopo dos metais encontrados há: Cr, Ni, Cd, Hg, Mn, Zn, Fe e Al. A concentração de paradas de compostos no Rio Doce é citotóxica, mutagênica e genotóxica aos organismos expostos a ela (Vergilio *et al.*, 2021). Um exemplo claro disso, são os desastres causados por ações antrópicas que ocasiona a contaminação desses agentes tóxicos, como no caso do rompimento da **barragem da Mina Córrego do Feijão**, da mineradora Vale, em **Brumadinho**.

Kokke (2023), afirma que a contaminação de um bem ambiental alcança uma diversidade de ângulos e de propensões, tanto em relação aos efeitos lesivos quanto na caracterização da responsabilidade civil. Diante disso, é necessário estabelecer os processos de identificação, como o de recuperação/reabilitação da área, consistindo na aplicação de medidas remediadoras mais sustentáveis, além de implementar leis mais rigorosas para a dispersão de metais pesados no ambiente. Com isso, o presente estudo tem como fundamento avaliar os principais metais pesados encontrados no Brasil, seus problemas, além de analisar os métodos mais utilizados para redução, prevenção e monitoramento das áreas contaminadas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Fontes de Contaminação

As principais fontes de contaminação hídrica são advindas do descarte de esgoto doméstico, escoamento de águas pluviais e efluentes industriais sem o tratamento adequado (Tan *et al.*, 2020), lançando substâncias em concentrações superiores a capacidade de depuração e estabelecidas por legislação.

As principais razões para o aumento da toxicidade ambiental devido aos metais pesados são fatores humanos e antropogênicos. Como fontes naturais de metais pesados pode-se citar detritos intrínsecos da composição dos solos arrastados pelo vento, incêndios florestais, erupções vulcânicas, processos biogênicos e sal marinho. Já as causas antropogênicas incluem operações de mineração, uso indiscriminado de pesticidas, fertilizantes e herbicidas, irrigação de campos com água industrial e de esgoto não tratados previamente (Madiha *et al.*, 2022).

Na América Latina, houve aumento exponencial das atividades de mineração na última década, principalmente a mineração relacionada ao ouro, realizada de maneira artesanal e de pequena escala ou de forma mecanizada, sendo esta atividade responsável por aproximadamente 15% das emissões globais totais de mercúrio e 80% das emissões totais de metais na América do Sul e África Subsaariana (Agudelo-Echavarría *et al.*, 2020).

## Impactos

### Mudanças Climáticas

Considera-se que fatores meteorológicos e atividades antrópicas influenciam as fontes e o processo de sedimentação de metais pesados (De Medeiros, 2022). Por exemplo, chuvas fortes podem aumentar o efeito de lixiviação de metais pesados das zonas minerais e agravar a poluição por difusão agrícola. O aumento da temperatura pode acelerar o processo de adsorção de metais pesados pelos sedimentos suspensos no ambiente aquático e potencializar o processo de intemperismo (Ferreira, 2021). Além disso, o aumento da temperatura é benéfico para o crescimento das plantas aquáticas, o que influencia a transformação de metais pesados nos sedimentos (Mantovani, 2024).

No ano de 2019 houve um rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, localizada em Minas Gerais, no Brasil, afetando grandes extensões de ecossistemas aquáticos e terrestres. E foi possível observar teores anômalos de Fe e Mn também foram relatados na literatura em amostras de sedimentos e água, comparados a níveis encontrados nos anos anteriores à ruptura (Buch *et al.*, 2024).

Investigar o efeito das alterações climáticas nas variações temporais dos metais pesados nos sedimentos de lagos/reservatórios e identificar a contribuição relativa das diferentes fontes, bem como as suas relações com as alterações climáticas e a eutrofização, é de grande importância para o futuro controle da poluição da água e do solo e gestão no âmbito das alterações climáticas.

### Impactos Socioeconômicos

Estima-se que os problemas relacionados ao fator socioeconômico podem impactar áreas como: a economia, desemprego desvalorização da área e além disso, a saúde. Essa desvalorização da área, prejudica os setores dependentes, como a agricultura e a pesca, diminuindo a produtividade e gerando grandes perdas financeiras, afetando a comunidade e investidores locais. Isso também se aplica ao desemprego na região, tendo em vista, que setores afetados, como pesca e o turismo, podem obter uma grande redução de empregos devido à diminuição da atividade econômica nessas áreas.

Projeta-se uma crise de confiança nos produtos locais que passam a ser renegados tanto por consumidores quanto por empresários em sua aquisição

(Kokke, 2023). Isso corrobora com os resultados de Mwalikenga e Vital (2020), eles afirmam uma grande concentração de metais pesados como zinco, ferro, chumbo e entre outros presentes não só na água, como nos peixes também.

De acordo com Correia *et al.*, (2021), a contaminação hídrica é um dos principais problemas ambientais enfrentados pela população, estando diretamente ligada à perda das condições de saúde dos indivíduos, especialmente nos grupos mais vulneráveis e regiões mais pobres.

## Saúde Humana

Os impactos causados pela contaminação de recursos hídricos não afetam apenas o meio ambiente, mas também a saúde humana. A intensidade da contaminação, a duração da expressão, a absorção do metal, as variáveis ambientais (temperatura, pH, dureza e salinidade) e os agentes como a idade dos peixes e as atividades alimentares, são fatores na seleção de órgãos corporais para a deposição de metais pesados sendo a grande maioria acumulado nos rins, brônquias e fígado (Agbugui *et al.*, 2022).

Essas afirmações corroboram com os resultados de Cruz *et al.*, (2021), no qual, afirmam que mesmo em baixas concentrações, a exposição exacerbada aos metais pesados promove inflamação crônica, o que desencadeia o estresse oxidativo, e subsequentemente, o processo de carcinogênese.

Segundo Kokke (2023), as principais vias de contaminação estão na ingestão de água e alimento contaminado, além da biomagnificação por meio da ingestão de plantas que foram semeadas e cresceram em locais contaminados.

## Bioacumulação e Biomagnificação

O processo de bioacumulação é definido como a transferência de metais a partir de uma fonte, como a água, os sedimentos ou os alimentos, para um organismo. Estes elementos se acumulam e as concentrações obtidas nos organismos refletem a quantidade dos elementos que foi ingerida e retida em seus tecidos. O organismo se torna incapaz de eliminar estes compostos de forma eficiente, devido suas propriedades, como sua afinidade com o oxigênio e enxofre, formando óxidos metálicos e sulfatos (Negrão *et al.*, 2021).

Um fenômeno também observado é a biomagnificação que ocorre quando há um aumento na concentração de metais, ao longo de ao menos duas posições tróficas em uma cadeia alimentar. A dinâmica das acumulações de metais pesados depende da taxa de acumulação e metabolismo da espécie. Devido à sua persistência no ambiente, estes metais entram e são transferidos através da cadeia alimentar quando entram diretamente no corpo dos organismos através do ambiente abiótico (água, sedimentos, solo) ou indiretamente a partir de presas/alimentos (Hu *et al.*, 2021).

Processos de aumento da concentração de metais pesados podem ser encontrados em alguns locais do Brasil, como no Rio Ouro, um rio tropical brasileiro, localizado ao sul do país. Foi identificada uma alta taxa bioacumulação de Zn e Pb em macroinvertebrados (Schwantes, 2021), também foi possível observar um processo de bioacumulação no Rio Araguari localizado em Minas Gerais, visto que os metais analisados (Cd, Pb, Fe, Hg, Cu e Zn) ultrapassaram os limites considerados seguros para a vida aquática (Viana, 2020). Por fim, foi encontrado um processo de biomagnificação de mercúrio no ecossistema ribeirinho do Rio Araguaia, em Goiás (Monteiro *et al.*, 2024).

## Metais Específicos

A contaminação por metais é uma questão ambiental discutida em todo o mundo. Elementos como Cd, Cr, Pb, Ni, Mn e Zn são considerados os metais pesados mais encontrados em todo o planeta nos ambientes aquáticos devido suas características não degradáveis e tóxicas (Kumar *et al.*, 2021). Segundo Gomes *et al.* (2021) os metais pesados encontrados em maior percentual nos recursos hídricos no Brasil são o Mercúrio, Cromo e Chumbo (tabela 1).

**Tabela 1 – Os principais metais tóxicos encontrados no Brasil em recursos hídricos.**

<b>Metais pesados mais encontrados no Brasil</b>	<b>Recursos hídricos mais afetados</b>	<b>Regiões que mais predominam</b>
Cromo	Mananciais de abastecimento, águas potáveis e rios	- Mananciais: 30%; - Águas potáveis: 43,2%; - Rios localizados na região nordeste (Bahia, Ceará).
Chumbo	Mananciais de abastecimento, águas potáveis e usinas hidrelétricas	- Mananciais: 30,3%; - Água potável: 34,6%; - Usina Hidrelétrica localizada no centro-oeste brasileiro.
Mercúrio	Mananciais de abastecimento, águas potáveis e usinas hidrelétricas	- Mananciais: 29,8%; - Água potável: 14,9%; - Usinas Hidrelétricas localizada no centro-oeste brasileiro.

**Fonte: Gomes *et al.* 2021.**

Por conta do aumento da poluição por metais pesados, políticas foram criadas com o intuito de conscientizar e reduzir a contaminação nos recursos hídricos. A lei N° 9.433 de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos com o objetivo de garantir qualidade da água à futuras gerações de forma consistente, juntamente com a prevenção e o combate da poluição nos recursos hídricos regulamentada através do ministério do meio ambiente - MMA que estabeleceu a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA com a Lei N° 9.984 de 2000 para ser responsável a implementação e regulamentação dos serviços referentes aos recursos hídricos e saneamento básico juntamente com o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 2010).

De acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA N° 430 de 2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados diretamente nos corpos hídricos após o devido tratamento, obedecendo ao padrão de condições exigidas desta resolução. Respeitando o valor máximo de determinado metal presente nos corpos hídricos, sem comprometer a qualidade da água, devendo ser igual ou menor ao valor da concentração letal mediana de 50% dividida por 10, ou seja, o valor limite é de 5%. Para os metais pesados Cromo, Chumbo e Mercúrio que são mais encontrados em incidentes no Brasil, o seu valor máximo permitido pelo CONAMA é de 0,01 mg/L para o Cromo e Mercúrio e 0,5 mg/L para o Chumbo (CONAMA, 2011).

## Monitoramento e Prevenção

É crucial estabelecer protocolos eficazes para o monitoramento e preservação de áreas contaminadas. O monitoramento ou identificação de fontes ou áreas contaminadas pode ser realizado de forma química, física ou bioquímica, acontece que alguns pesquisadores utilizam plantas, animais, insetos e microorganismos como bioindicadores para identificar áreas de risco e monitora possíveis ocorrências de poluição. Um dos métodos desse biomonitoramento é na utilização de líquens.

Os líquens, simbioses, apresentam sensibilidade a compostos e substâncias, sendo bioacumuladores e bioindicadores nos compartimentos de ar e solo (Vargas *et al.*, 2023).

Utilização de organismos ou comunidades de organismos como bioindicadores é um método de monitoramento ambiental bastante vantajoso, visto que há a possibilidade de avaliação dos impactos ao longo do tempo, as análises não são tendenciosas e apresentam resultados confiáveis, como por exemplo, utilizando tecido dentário de *Myodes glareolus* para identificar a exposição a metais pesados (Cagni *et al.*, 2022).

Isso ressalta a importância do monitoramento e da fiscalização ambiental de modo a evitar e/ou mitigar o crescimento desordenado das atividades econômicas em Áreas de Proteção Ambiental (Fonseca *et al.*, 2024).

## Remediação

Ao decorrer dos anos foram analisadas algumas formas de remediações para os recursos hídricos que sofreram algum impacto por conta dos despejos indevidos de metais pesados, onde de acordo com Ledezma *et al.* (2021) podem ser classificados como tratamentos convencionais e não convencionais. Os tratamentos convencionais são: Precipitação química, floculação, troca iônica, tecnologias de membrana e tecnologias eletroquímicas (Ambrósio *et al.*, 2021; Fabre *et al.*, 2021; Ledezma *et al.*, 2021). Para os tratamentos não convencionais temos os exemplos de adsorção, células de combustível microbiano, nanotecnologia e fitorremediação (Joseph *et al.*, 2019; Eftekhari *et al.*, 2020; Ledezma *et al.*, 2021; Bhat *et al.*, 2022). Adiante, alguns desses tipos de tratamento serão abordados mais detalhadamente.

A forma de tratamento convencional mais eficaz é a coagulação-floculação, onde a técnica consiste na aglomeração de partículas finas em partículas maiores reduzindo a turbidez através da sedimentação dos metais pesados, possibilitando a sua retirada da água, sendo está uma técnica simples, porém, a técnica não consegue retirar completamente os metais pesados do ambiente (Fabre *et al.*, 2021; Ledezma *et al.*, 2021).

Outro tratamento convencional utilizado é a precipitação química, que utiliza alguns reagentes para estimular reações com os metais pesados presentes na água, formando uma fase mais sólida e insolúvel, facilitando a sua remoção do ambiente. Embora seja uma técnica fácil e de baixo investimento, os resultados podem impactar negativamente a longo prazo, por produzir uma quantidade maior de produtos químicos que interagem com os metais pesados para a fase sólida, podendo haver a possibilidade de resquícios dos resíduos tóxicos no ambiente (Ambrósio *et al.*, 2021; Ledezma *et al.*, 2021).

Um dos exemplos de tratamento não convencional mais utilizado é a fitorremediação, tornando-se uma técnica positiva para o meio ambiente, que proporciona a remoção dos metais pesados do local contaminado através de plantas, musgos e líquens com alto potencial de extração, estabilização e degradação de diferentes metais. Que também conseguem se adaptar a diferentes ambientes ajudando no custo e facilitando sua implantação no local, auxiliando na prevenção de erosões e lixiviações, conservando e recuperando o solo que foi contaminado (Ledezma *et al.*, 2021; Bhat *et al.*, 2022).

A técnica de adsorção, como tratamento não convencional é também uma possibilidade positiva, por conseguir retirar grandes quantidades de metais pesados dos recursos hídricos, como também possui uma capacidade de evitar a geração de poluentes secundários. Além de possuir uma vasta gama de adsorventes que podem ser utilizados, a técnica de adsorção pode reutilizar os adsorventes se tornando uma forma mais rentável (Joseph *et al.*, 2019; Eftekhari *et al.*, 2020; Ledezma *et al.*, 2021).

No Brasil a técnica de biossorção que é a adsorção feita por material biológico é a mais utilizada para o tratamento do cromo, chumbo e mercúrio, como apontam alguns estudos nos estados de Pernambuco, Paraíba, São Paulo e Minas Gerais. Os biossorventes utilizados podem ser biomassas de origem vegetal, como por exemplo, cascas de banana, casca de tangerina, casca de amendoim, resíduos de café e biomassa extraída da palma forrageira, uma planta da família dos cactos, estes biossorventes são capazes de remover em torno de 74% a 90% desses metais (Lima *et al.*, 2020; Abillio *et al.*, 2021; Fabre *et al.*, 2021; Figueirôa *et al.*, 2021).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de fiscalização pelo poder público é considerada como um processo de controle mais eficiente do despejo indevido de metais pesados, a qual permitirá a sobrevivência dos recursos hídricos. Outro aspecto fundamental que deve ser observado no processo de controle ou na mitigação são as características químicas e toxicológicas de cada metal pesado, possibilitando danos à saúde humana devido a diferentes processos e vias de bioacumulação, como chumbo, cromo e mercúrio, que podem causar a incidentes com maior índice de contaminação. Sendo observadas formas de remediações não convencionais para o meio ambiente, como a biossorção, que demonstra ser mais eficiente e ecologicamente correta, possibilitando uma estratégia de redução dos efeitos negativos causados pelos metais pesados, independente das características dos biomas.

## REFERÊNCIAS

ABILIO, T. E., SOARES, B. C., JOSÉ, J. C., MILANI, P. A., LABUTO, G., CARRILHO, E. N. V. M. **Hexavalent chromium removal from water: adsorption properties of in natura and magnetic nanomodified sugarcane bagasse.** *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 24816–24829. Doi: 10.1007/s11356-020-11726-8. (2021).

AGUDELO-ECHAVARRÍA, D. M. **Historical reconstruction of Small-scale gold mining activities in tropical wetland sediments in Bajo Cauca-Antioquia. Colombia.** 2020. *Chemosphere*, 254, 126733. ISSN 0045-6535. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126733>.



AMBRÓSIO, N., BERNARDI, J. L., DALLAGO, R., MIGNONI, M. L. **Remoção de metais pesados de efluentes utilizando líquidos iônicos: uma revisão.** 2021. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*. 5, 50189–50209, Doi: 10.34117/bjdv.v7i5.30034.

AGBUGUI, M.O., ABE, G.O. **Heavy Metals in Fish: Bioaccumulation and Health.** 2022. *British Journal of Earth Sciences Researc*, 10(1), 47-66.

BUCH, A.C., *et al.* **Avaliação da poluição ambiental e dos riscos à saúde humana dos rejeitos de mineração no solo: após o rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão (em Brumadinho, Brasil).** 2024. *Environmental Geochemistry and Health*, 46 (72).

BHAT, S. A., *et al.* **Fitorremediação de metais pesados no solo e na água: uma abordagem ecologicamente correta, sustentável e multidisciplinar.** *Quimosfera*, 303, 134788. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.134788. 2022.

BLACKSMITH INSTITUTE. Disponível em: <https://www.pureearth.org/> .Acesso em .07 maio. 2024.

CORREIA, C. V., HUSZCZ, G. B., PAES, B. A., SANTOS, A. G. E., MARTENS, L.B. **Doença de Veiculação Hídrica e seu Grande Impacto no Brasil: Consequência de Alterações Climáticas ou Influência de Políticas Públicas.** 2021. *Brazilian Medical Students Journal*, 5 (8).

CRUZ, J. V. B., *et al.* **Influência dos metais pesados no acometimento do câncer: Uma revisão da literatura.** 2021. *Research, Society and Development*, 10(6), e45810615992. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15992>.

CAGNI, G. S., *et al.* **Organismos bioindicadores de metais pesados: uma revisão.** *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(1), 179-194. Doi: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.001.0015. (Jan 2022).

DE MEDEIROS, F. J. *et al.* **Balanco hídrico em um município do semiárido em anos de El Niño e La Niña forte.** 2022. *Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia*, 11(1), 67.

EFTEKHARI, M., AKRAMI, M., GHEIBI, M., AZIZI-TOUPKANLOO, H., FATHOLLAHI-FARD, A. M., TIAN, G. **Cadmium and copper heavy metal treatment from water resources by high-performance folic acid-graphene oxide nanocomposite adsorbent and evaluation of adsorptive mechanism using computational intelligence, isotherm, kinetic, and thermodynamic analyses.** *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 43999–44021, Doi: 10.1007/s11356-020-10175-7. (2020).

FABRE, E., VALE, C., PEREIRA, E., SILVA, C. M. **Tratamento Sustentável de Água: Uso de Resíduos Agrícolas e Industriais para Remover Mercúrio por Biossorção. Água Ar Poluição do Solo**, 232, 284. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05165-5>. 2021.

FERREIRA, T. C. *et al.* **Análise dos impactos e potencial de danos da composição e percolação do necrochorume no solo.** 2021. *Brazilian Journal of Development*, 7(3), 25094-25112.

FIGUEIRÔA, J. A., MENEZES NOVAES, G. U., SOUZA GOMES, H., MORAIS SILVA, V. L. M., MORAES LUCENA, D., LIMA, L. M. R., GOMES, J. P. **Opuntia ficus-indica é um excelente biossorvente ecológico para remoção de cromo em efluentes da indústria do couro.** *Heliyon*, 7(6), 07292. Doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07292 (2021).

FONSECA, C. S., AMARAL, V. S., NAVONI, J. A. **Impacto Antrópico nos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte: Uma Análise Geoespacial de Vulnerabilidade Ambiental.** Caderno Prudentino de Geografia, Rio Grande do Norte, v. 1, n. 46, p. 49-67, 2024.

FARIA, R. S., PADOVESI-FONSECA, C. **Gestão ecológica das águas: uma comparação das diretrizes do Brasil e da Europa.** 2020. Revista Ciência & Trópico, 44(1), 83-99, 2020. Doi: 10.33148/cetropicov44n1.

GOMES, F. B. R. *et al.* **Ocorrência de chumbo, cromo e mercúrio em mananciais de abastecimento e em água de consumo humano no Brasil.** 2021. Revista de Gestão de Água da América Latina, v.18.

IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Manchas de óleo: Litoral brasileiro.** 2019. Brasília, DF: Ibama. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo>.

JOSEPH, L., JUN, B. M., FLORA, J. R. V., PARK, C. M., YOON, Y. **Remoção de metais pesados de fontes de água no mundo em desenvolvimento utilizando materiais de baixo custo: uma revisão.** *Quimosfera*. 229, 142-159. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.198. 2019.

KOKKE, M. **Responsabilidade Civil e Risco Ambiental em Áreas Contaminadas e em Áreas Degradadas Órfãs.** 2023. Revista Jurídica da Presidência, Brasília, 25(135), 132-162. Doi: <http://dx.doi.org/10.20499/2236-3645.RJP2023v25e135-2819>.

KUMAR, Satendra *et al.* **Poluição dos recursos hídricos associada aos riscos de metais pesados da região da mina de ouro de Vatukoula, Fiji.** 2021. Revista de gestão ambiental, 293, 112868.

LEDEZMA, Z.C., NEGRETE-BOLAGAY, D., FIGUEROA, F., ZAMORA-LEDEZMA, E., NI, M., ALEXIS, F., GUERRERO, V. H. **Heavy metal water pollution: A fresh look about hazards, novel and conventional remediation methods.** *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101504. Doi: 10.1016/j.eti.2021.101504. 2021.

LIMA, V. E., GOUVEIA, A. G. M., SILVA, M. L. C. **Avaliação do uso de materiais residuais como adsorventes para remoção de Pb<sup>2+</sup> em efluentes de laboratórios.** *Brazilian Journal of Development*, 6(12). Doi: 10.34117/bjdv6n12-280. 2020.

MADIHA, Z., RASHID, Y., AYESHA, A., YASIR, S., LIAQAT, A., MAHPARA, F., KHALID, A. K., SHUANGFEI, L. **Health and environmental effects of heavy metals.** *Journal of King Saud University Science*, 34(1), 2-6. 2022.

MANTOVANI, J. N. *et al.* **Monitoramento de metais e qualidade de água no Ribeirão Taquaruçú grande e afluentes.** *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, 11(3). 2024.

MONTEIRO, L. C. *et al.* **Distribuição, bioacumulação e biomagnificação de mercúrio em ecossistemas ribeirinhos de uma planície de inundação de savana neotropical.** Rio Araguaia, Brasil Central. *Pesquisa Ambiental*, 252 (2, p. 118906, 2024.

NEGRÃO, G. N., SOUZA, N. U., BUTIK, M. **Avaliação do Potencial Fitorremediador da Macrófita Aquática *Salvinia Auriculata* na Absorção e Acúmulo de Zinco.** *Revista Geografia*, Londrina, v. 30, n. 1, p. 367-385, 2021.

RODRIGUES FILHO, D. P. **Avaliação da concentração de metais tóxicos e contaminação microbiológica em vegetais cultivados na área de um aterro sanitário em Porto Nacional – TO.** 2022. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas, 2022.

SANTOS, J. C.; ZOCCAL, J. V. M. **Análise da Potabilidade da Água do Rio São José dos Dourados: Avaliação do Uso de Agrotóxicos nas Plantações de Cana-de-Açúcar e Descarte de Efluentes Industriais.** Revista Unifev: Ciência & Tecnologia, Votuporanga-SP, v. 4, n. 2, 2023.

SCHWANTES, D. *et al.* **Distribuição de metais pesados em sedimentos e sua bioacumulação em macroinvertebrados bentônicos em uma bacia hidrográfica tropical brasileira.** Engenharia Ecológica, v. 163, p. 106194, 2021.

TAN, T.H., MO, K.H., LING, T.C., LAI, S.H. **Current development of geopolymer as alternative adsorbent for heavy metal removal.** 2020. Environmental Technology & Innovation, 18, 100684. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100684>

VIANA, LUCILENE FINOTO *et al.* **Bioaccumulation of metal in liver tissue of fish in response to water toxicity of the Araguari-Amazon River, Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 192, p. 1-11, 2020.

VERGILIO, S. *et al.* **Science of the Total Environment Immediate and long term impacts of one of the worst mining tailing dam failure worldwide.** Science of the Total Environment, v. 756, p. 143697, 2021.

VARGAS, L. B., *et al.* **Uso de líquens como bioindicadores no monitoramento ambiental: uma revisão.** Uniplac, 5(3). (2023).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as bolsas concedidas pela FACEPE para E.S.C.S. Processo IBPG-1127-3.06/24, M.K.S.P. Processo IBPG-1148-3.06/24, P.M.J.M. Processo IBPG-1122-3.06/24 e A.P.B.C. pela CAPES(Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) , e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) Processo nº 312241/2022-4 grant concedido a G.M.C.T.

# Glifosato como contaminante de alimentos e do solo

## *Glyphosate as a food and soil contaminant*

**Luiz Henrique Rodrigues**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4005-5498>*

**Nathalia França Pessoa**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8988-3928>*

**Rômulo Pereira da Silva**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4445-4116>*

**Stephanie Carmélia Matos Nunes**

*Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais – UNICAP.  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0047-3301>*

**Eliana Cristina Barreto Monteiro**

*UPE; Escola ICAM TECH-UNICAP; Universidade de Pernambuco. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0842-779X>*

**Galba Maria Campos-Takaki**

*Escola ICAM TECH; Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS, MCTI/UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>*

### RESUMO

Os pesticidas são substâncias químicas utilizadas para controlar pragas e doenças nas plantações, visando aumentar a produtividade agrícola. O glifosato é um dos pesticidas mais amplamente utilizado no mundo devido à sua eficácia contra ervas daninhas. O ciclo de vida inicia com a aplicação e absorção pelas plantas inibindo a síntese de aminoácidos essenciais, levando à morte. Os mecanismos de contaminação do glifosato incluem lixiviação no solo e infiltração nos corpos d'água, afetando a biodiversidade aquática e terrestre. No solo, o glifosato pode prejudicar a microbiota, diminuir a fertilidade e afetar a saúde das plantas. A propriedade de persistência e degradação variam de acordo com os fatores ambientais, podendo permanecer no solo por meses ou até anos. A contaminação de alimentos é uma preocupação com os resíduos de glifosato que podem ser encontrados em produtos agrícolas, indicando possíveis riscos à saúde humana e efeitos carcinogênicos e distúrbios endócrinos. O monitoramento e regulamentação do uso de glifosato são essenciais para mitigar os impactos ambientais e proteção da saúde pública. Alternativas são sugeridas ao uso de pesticidas convencionais por uma agricultura orgânica, ou cultivo de plantas geneticamente modificadas no processo de resistência a pragas, emprego de biopesticidas e controle biológico, estão sendo cada vez mais investigados. Desafios futuros visam a busca



de métodos mais eficazes e sustentáveis no controle de pragas, na perspectiva de reduzir a dependência de pesticidas sintéticos, além de abordar sobre a segurança alimentar e a redução dos impactos ambientais a longo prazo.

**Palavras-chave:** glifosato; pesticidas; alimentação; doenças; biopesticidas.

## ABSTRACT

Pesticides are chemical substances used to control pests and diseases in crops, aiming to increase agricultural productivity. Glyphosate is one of the most widely used pesticides in the world due to its effectiveness against weeds. The life cycle begins with application and absorption by plants, inhibiting the synthesis of essential amino acids, leading to death. Glyphosate contamination mechanisms include leaching into the soil and infiltration into water bodies, affecting aquatic and terrestrial biodiversity. In soil, glyphosate can harm the microbiota, reduce fertility, and affect plant health. The persistence and degradation properties vary according to environmental factors and can remain in the soil for months or even years. Food contamination is a concern with glyphosate residues that can be found in agricultural products, indicating possible risks to human health and carcinogenic effects and endocrine disruption. Monitoring and regulating the use of glyphosate are essential to mitigate environmental impacts and protect public health. Alternatives are suggested to the use of conventional pesticides in organic agriculture, or the cultivation of genetically modified plants in the process of resistance to pests, the use of biopesticides and biological control, are being increasingly investigated. Future challenges aim to search for more effective and sustainable methods of pest control, with a view to reducing dependence on synthetic pesticides, in addition to addressing food security and reducing long-term environmental impacts.

**Keywords:** glyphosate; pesticides; food; diseases; biopesticides.

## INTRODUÇÃO

O uso global dos pesticidas desempenha um papel crucial na garantia da segurança alimentar e na proteção das colheitas. Conforme indicado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), “o uso de pesticidas aumentou consideravelmente, alcançando cerca de 4,1 milhões de toneladas anualmente em escala mundial” (FAO, 2020). No Brasil, como destacado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), “o país se tornou o maior consumidor mundial de pesticidas desde 2008, com um consumo anual de aproximadamente 400 mil toneladas” (IBAMA, 2021). Essas estatísticas evidenciam a grande importância dos pesticidas na agricultura contemporânea.

Entre os pesticidas mais amplamente utilizados no Brasil, destaca-se o glifosato, um herbicida comumente empregado devido à sua eficácia no controle de ervas daninhas. Como afirmado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), “o glifosato é o herbicida mais comercializado no Brasil e no mundo, representando mais de 40% do mercado global de herbicidas” (ANVISA, 2022). No entanto, a crescente utilização do glifosato suscitou preocupações sobre seus possíveis impactos na saúde humana e no meio ambiente.

Estudos recentes têm levantado preocupações sobre os efeitos adversos do glifosato na saúde humana e no meio ambiente, demandando uma revisão cuidadosa de suas práticas de uso e regulamentações. Conforme destacado por Hernández (2021), “o glifosato tem sido associado a uma série de problemas de saúde, incluindo distúrbios endócrinos e riscos de câncer”. Essas preocupações enfatizam a necessidade urgente de uma avaliação mais aprofundada dos riscos associados ao uso do glifosato e a implementação de medidas adequadas de mitigação.

Busca-se examinar os desafios e perspectivas do uso do glifosato no Brasil, considerando os avanços científicos mais recentes e as regulamentações vigentes. Ao fornecer uma análise crítica do papel do glifosato na agricultura brasileira, estudos pretendem contribuir para o desenvolvimento de políticas agrícolas mais sustentáveis e seguras.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Conceito de Pesticidas

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define pesticidas como “substâncias utilizadas no controle de organismos indesejados, incluindo insetos, roedores, fungos e ervas daninhas” (OMS,2024). Sua classificação pode ocorrer por diferentes critérios, tais como: origem (orgânica ou inorgânica), estrutura química, toxicidade e finalidade (Montagner *et al.*, 2021).

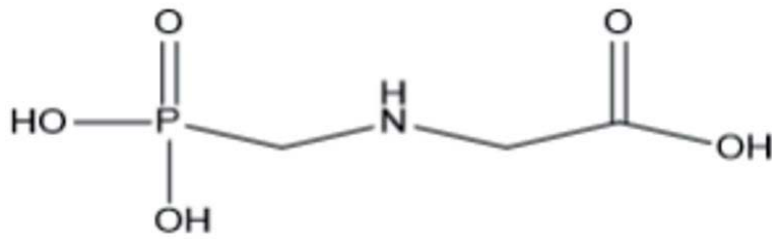
Quanto a toxicidade, de acordo com a ANVISA (2024) a classificação engloba as seguintes categorias: produto extremamente tóxico, produto altamente tóxico, produto moderadamente tóxico, produto pouco tóxico e produto improvável de causar dano agudo.

### Ciclo de Vida do Glifosato

O glifosato apresenta como fórmula molecular  $C_3H_8NO_5P$  (figura 1) e é conhecido por ser um herbicida sistêmico, não seletivo e pós-emergente utilizado na agricultura na forma de pulverização em plantas daninhas, o que promove sua absorção através das folhas e caulículos, sendo transportado pelos vasos condutores e agindo nos sistemas enzimáticos por meio da inibição dos aminoácidos (Amarente *et al.*, 2020).



Figura 1 – Estrutura do glifosato



Fonte: Perkin Elmer Informatics, 2010.

A absorção do glifosato é um processo bifásico que envolve uma rápida penetração inicial através da cutícula, seguida por uma absorção simplástica lenta (Smith *et al.*, 2020). A duração desse processo é dependente de vários fatores, como espécie e idade da planta, condições ambientais e concentração do herbicida na calda e do surfatante (Johnson & Patel, 2021). Uma vez que o glifosato penetra na planta através da cutícula e membrana plasmática dos tecidos fotossintetizantes, é necessário que ocorra a translocação simplástica, através de tecidos vasculares, para os sítios-alvo do herbicida” (Garcia *et al.*, 2023).

## Mecanismos de Contaminação do Glifosato

O glifosato é amplamente utilizado em áreas agrícolas e urbanas e é frequentemente encontrado em águas superficiais e no solo (Lima, Boëchat, & Gücker, 2021). Russo, Pereira & Ponstein (2021) constataram que o emprego de glifosato representou a principal fonte de emissões de agrotóxicos para o solo, exercendo um impacto predominante na saúde humana e na toxicidade em todas as categorias de avaliação de impacto.

Ussiri e Lal (2019), apontam que o uso contínuo do glifosato pode induzir modificações na composição da comunidade microbiana do solo, resultando em alterações em sua funcionalidade e estabilidade. Estudos recentes indicam que o glifosato, quando em contato com o solo, exibe uma alta capacidade de adsorção. Após ser adsorvido, o glifosato pode permanecer no ambiente na forma de resíduo ligado, onde sua degradação completa pode ocorrer ao longo de dias ou meses, dependendo das propriedades específicas do solo (Smith *et al.*, 2019).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2021), o glifosato demonstra estabilidade química na água superficial e não é suscetível à degradação fotoquímica. Sua baixa capacidade de mobilidade no solo sugere um potencial mínimo de contaminação da água subterrânea. No entanto, é possível que o glifosato alcance tanto as águas superficiais quanto as subsuperficiais após aplicações diretas próximas a ambientes aquáticos, ou através do escoamento ou lixiviação resultantes de aplicações terrestres.

## Impactos no Solo

Os efeitos do glifosato vem sendo um tema de preocupação e interesse crescente na comunidade científica, uma dessas preocupações são os impactos que estão sendo causados no solo. Esse impacto é multifacetado e atinge desde a sua estrutura física e química (Tyler, 2022), a microbiota presente (Gómez-Gallego *et al.*, 2020) e a biodiversidade nele encontrada (Lima; Silva & Pelosi, 2023).

A microbiota do solo desempenha um papel crucial na saúde e na fertilidade, influenciando processos como a decomposição da matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes e a fixação de nitrogênio. O glifosato pode suprimir a atividade de microrganismos benéficos do solo, como bactérias fixadoras de nitrogênio e Zygomycetes, levando a uma redução na disponibilidade de nutrientes (Fuchs *et al.*, 2023). O glifosato também altera o equilíbrio microbiano, promovendo o crescimento de certas espécies em detrimento de outras. Isso pode mudar a funcionalidade do solo e prejudicar sua capacidade de sustentar ecossistemas saudáveis (Van Bruggen *et al.*, 2021). Também foi observado que alguns microrganismos do solo podem desenvolver resistência ao glifosato, resultando na seleção de cepas bacterianas e fúngicas resistentes. Isso pode ter consequências imprevisíveis para a dinâmica da microbiota do solo e para a eficácia futura do glifosato como herbicida (Ramula *et al.*, 2022).

Conforme Das (2022), o uso do glifosato causa uma série de alterações e impactos na estrutura física e química do solo, afetando sua fertilidade, capacidade de retenção de água e nutrientes, bem como sua estabilidade e saúde geral. O glifosato pode levar à compactação do solo ao longo do tempo, reduzindo sua porosidade e permeabilidade. Isso diminui a infiltração de água e o fluxo de ar, afetando negativamente a atividade biológica e a saúde do solo (Agapito-Tenfen *et al.*, 2020).

## Persistência e Degradação

O glifosato é conhecido por sua persistência no ambiente, o que significa que ele pode permanecer ativo no solo e na água por períodos variáveis após a aplicação. A persistência do glifosato depende de uma série de fatores, incluindo as condições ambientais, as características do solo e a dose aplicada (Froger *et al.*, 2023).

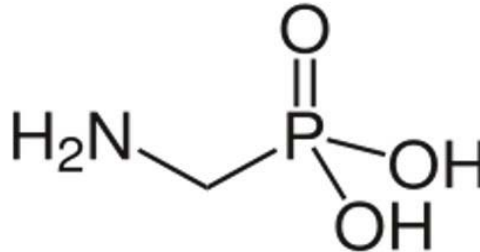
No estudo de Leoci e Ruberti (2020), eles abordam que existem vários fatores que podem influenciar a persistência do glifosato no ambiente, incluindo o pH do solo, a umidade, a temperatura, a presença de microrganismos degradadores e a exposição à luz solar. Solos ácidos aceleraram a degradação do glifosato, enquanto solos alcalinos retardam esse processo. Da mesma forma, solos com alta umidade e temperaturas mais quentes geralmente favorecem a degradação do glifosato (Morrás *et al.*, 2022). Estudos demonstraram que o glifosato pode persistir no solo e na água por semanas a meses (Edge *et al.*, 2021).

O glifosato pode se degradar no solo por meio de diferentes processos, incluindo fotodegradação, quebra enzimática, degradação microbiana e adsorção em partículas do solo (Muskus *et al.*, 2020). A fotodegradação, que ocorre quando o glifosato é exposto à luz solar, é um dos principais mecanismos de degradação em ambientes terrestres (Wei *et al.*, 2023).

Segundo Aslam, Jing e Nowak (2023), a degradação do glifosato pode gerar produtos que são mais persistentes ou mais tóxicos que o próprio glifosato, com diferentes propriedades e potenciais impactos ambientais. O ácido aminometilfosfônico (AMPA) é um dos principais produtos de degradação do glifosato e pode permanecer no ambiente por um período mais longo do que o próprio glifosato. Estudos têm mostrado que o AMPA (figura 2) pode ser detectado em solos e águas superficiais após a aplicação de glifosato, destacando

sua persistência e potencial impacto ambiental (Wimmer *et al.*, 2023). A identificação e monitoramento desses produtos de degradação são importantes para avaliar os riscos ambientais associados ao uso do glifosato e para desenvolver estratégias de manejo e remediação adequadas.

**Figura 2 – Estrutura do ácido aminometilfosfônico (AMPA)**



Fonte: Adaptado de Leyo, 2011

## Perigo do Glifosato nos Alimentos

O glifosato é frequentemente usado como herbicida em culturas agrícolas, principalmente em culturas transgênicas geneticamente modificadas para resistir ao herbicida. Como resultado, resíduos de glifosato podem ser encontrados em uma variedade de alimentos, incluindo cereais, legumes, frutas e vegetais.

Embora a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) e outras agências regulatórias tenham classificado o glifosato como um herbicida de baixa toxicidade aguda para humanos, preocupações persistem sobre os possíveis efeitos crônicos do glifosato na saúde humana (Meftaul *et al.*, 2020). Alguns estudos epidemiológicos e de laboratório sugeriram uma possível associação entre a exposição ao glifosato e certas condições de saúde, como câncer, distúrbios endócrinos e danos ao fígado e aos rins (Gillezeau *et al.*, 2019).

A maioria dos países estabeleceu limites máximos de resíduos (LMRs) para o glifosato em alimentos, com base em avaliações de risco realizadas por agências reguladoras de segurança alimentar (Foloni *et al.*, 2024). Esses LMRs são projetados para garantir que os níveis de resíduos de glifosato em alimentos estejam abaixo dos limites considerados seguros para a saúde humana. No entanto, algumas organizações e grupos de defesa da saúde argumentam que esses limites podem não ser adequados para proteger adequadamente a saúde pública, especialmente em relação à exposição crônica ao glifosato ao longo do tempo (Vicini *et al.*, 2021).

## Riscos à Saúde Humana

Muitos trabalhos já relatam sobre os impactos que os agrotóxicos têm sobre o homem e sua saúde, tal impacto pode ser proveniente tanto do contato direto com os agrotóxicos como por sua ingestão através de alimentos contaminados por contato intenso com os químicos, sendo respectivamente a população mais afetada os trabalhadores rurais e a população em geral que consome alimentos. Diversas são as consequências da exposição prolongada aos agrotóxicos em pequenas doses, causando distúrbios no organismo humano, dos quais são descritos pela literatura que variam de alterações teratogênicas,

carcinogênicas, alterações nos sistemas hematológico, no sistema respiratório, no sistema nervoso, como instabilidade hormonal, intoxicações e contaminações (Soares *et al.*, 2020; Matias *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2021).

Conforme Ferreira, Costa e Ceolin (2020), os agrotóxicos outrora por meio da literatura demonstra uma atividade teratogênica, eles também afirmam que existe uma relação entre os agrotóxicos com alguns sinais e sintomas das teratogênias, sendo um dos citados o glifosato. Em continuidade estudos evidenciam que os agrotóxicos possuem envolvimento com o desenvolvimento do câncer, o aparecimento do câncer mais crucial em indivíduos com predisposições genéticas, com trabalhadores que possuem contato direto com o agente químico e os residentes próximos as áreas de plantação (Piccoli *et al.*, 2019; Matias *et al.*, 2021).

Os agrotóxicos a partir do glifosato tem sua atividade ligada a interromper a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase, agindo com inibição da síntese dos aminoácidos triptofano, tirosina e fenilalanina. Nos estudos de Samsel e Sneff (2015) e Nodari e Hess (2020), ambos descrevem que a interrupção pelo glifosato tanto na síntese dos aminoácidos como em outros metabolismos, favorecendo o desenvolvimento de doenças. Ao expor glifosato em células periféricas sanguíneas, observou-se que o agrotóxico proporciona dano ao DNA, podendo modificar o ciclo celular, levando a morte programada, a ativação de oncogênese e desligamento dos genes supressores de tumor (Bortoloti & Sampaio, 2022). Diante disso, já foi estabelecido pela Agência Internacional para a Pesquisa do Câncer (IARC), vinculada à Organização Mundial da Saúde (OMS), destacando o glifosato como um possível agente cancerígeno (IARC, 2015; Nodari & Hess, 2020).

## Monitoramento e Regulamentação

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) em 2019 elaborou uma nova regularização para os agrotóxicos, após o Brasil aderir aos aspectos de classificação toxicológica dos agroquímicos, fundamentado pelo Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals – GHS. Dessa forma, a nação brasileira passou a reconhecer as novas diretrizes semelhante aos europeus, asiáticos e outros filiados. (Gilson *et al.*, 2020). A ANVISA (2019) passou a classificar os agroquímicos por categorias e cores nos produtos, conforme a tabela 1:

**Tabela 1 - Classificação da toxicidade dos agroquímicos segundo a ANVISA, 2019.**

<b>Categorias</b>	<b>Toxicidades</b>	<b>Cor indicativa</b>
Categoria 1	Produto extremamente tóxico	Faixa vermelha
Categoria 2	Produto altamente tóxico	Faixa vermelha
Categoria 3	Produto moderadamente tóxico	Faixa amarela
Categoria 4	Produto pouco tóxico	Faixa azul
Categoria 5	Produto improvável de causa dano agudo	Faixa azul
Não classificado	Produto não classificado	Faixa verde

**Fonte: Adaptado da ANVISA, 2019.**

A classificação conforme o IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2022), dos agrotóxicos são pelas seguintes classes observadas pela tabela 2, de acordo com a Portaria IBAMA nº 84 de 15/10/1996:

**Tabela 2 - Classificação dos agroquímicos, conforme IBAMA, 2022.**

<b>Classes</b>	<b>Classificação de perigo para o meio ambiente</b>
Classe I	Produto altamente perigoso ao meio ambiente
Classe II	Produto muito perigoso ao meio ambiente
Classe III	Produto perigoso ao meio ambiente
Classe IV	Produto pouco perigoso ao meio ambiente

**Fonte: Adaptado do IBAMA, 2022.**

Tendo em vista que o Glifosato é o agrotóxico mais vendido do mundo e consequentemente do Brasil, segundo o IBAMA, ele está em primeiro lugar como agrotóxico (princípio ativo) mais vendido no Brasil em 2022. Na lista do IBAMA dos ingredientes ativos mais vendidos em 2022, os três primeiros colocados são: glifosato e seus sais, liderando com 266.088,12 mil toneladas ao ano, seguido do 2,4-d com cerca de 65.365,52 mil toneladas anuais e por terceiro colocado a atrazina com cerca de 47.663,24 mil toneladas anualmente (Teixeira, Paula & Napolitano, 2019; IBAMA, 2020).

## **Alternativa aos Pesticidas Convencionais**

No mundo a utilização do glifosato segue distante dos demais como prática mais usual, recomendada e eficiente no controle de plantações. Sendo o glifosato um agrotóxico generalizado e não seletivo, que possui sua atividade na inibição da 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase pela via do ácido chiquímico, ele também em relação aos seus concorrentes demonstra um menor impacto ambiental. Entretanto a legislação tende-se a ser mais rigorosa e os estudos atuais do seu efeito para a humanidade que é crescente, causa no futuro uma atenção maior para o glifosato. Em virtude disso, alternativas estratégicas são necessárias para uma possível consequência e para a eliminação gradual do glifosato (Kanatás *et al.*, 2021).

Os bioinsumos (insumos de origem biológica) surgem como uma alternativa para os agroquímicos, são exemplos as substâncias naturais, extratos vegetais e os microrganismos que abordam uma nova perspectiva com sua aplicação no controle de pragas, manutenção de plantações, mostrando-se mais específico e com baixo impacto para o ambiente e consequentemente para a humanidade, tornando-se uma metodologia promissora para a agricultura mundial e nacional, preservando a sustentabilidade (Bortoloti & Sampaio, 2022).

## **Desafios e Perspectivas Futuras**

Apesar dos desafios, o glifosato continua desempenhando um papel importante na agricultura brasileira, contribuindo para a produtividade e a sustentabilidade econômica do setor (Brito *et al.*, 2021). No entanto, é crucial adotar uma abordagem integrada que inclua o uso de múltiplos modos de ação e práticas de manejo de plantas daninhas para mitigar os efeitos da resistência (Motta *et al.*, 2023).

Questões ambientais, como a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, bem como os impactos na biodiversidade, são fontes de preocupação. Estudos recentes, como o de Pereira *et al.* (2020), destacam a presença de resíduos de glifosato em mananciais e rios, ressaltando a necessidade urgente de monitoramento e regulação mais eficazes.

Esses desafios exigem uma abordagem equilibrada que leve em consideração não apenas os aspectos agrônômicos, mas também os impactos ambientais e de saúde associados ao uso do glifosato no Brasil.

Os biopesticidas emergem como uma alternativa promissora aos pesticidas convencionais, destacando-se por sua origem natural e potencial reduzido de impacto ambiental e riscos à saúde humana (Singh, Kaur & Kaur, 2019). Estes agentes incluem microrganismos como bactérias, fungos e vírus, bem como substâncias químicas naturais encontradas em plantas.

Pesquisas recentes destacam o potencial dos biopesticidas no manejo integrado de pragas, ressaltando sua eficácia contra uma variedade de insetos, fungos e ervas daninhas, além de sua biodegradabilidade e baixo risco de resistência (Singh, 2019). Além disso, evidências sugerem que os biopesticidas podem contribuir para a preservação da biodiversidade em sistemas agrícolas, promovendo o equilíbrio ecológico (Chandler, 2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ciclo de vida do glifosato revela persistência no solo e na água, com potenciais efeitos negativos na biodiversidade e na fertilidade do solo. A contaminação em alimentos também gera preocupações sobre possíveis efeitos carcinogênicos e distúrbios endócrinos em seres humanos. Como sugestão recomenda-se regulamentação e monitoramento rigorosos essenciais para mitigar os impactos negativos em alimentos e ao solo. Neste contexto, o uso de biopesticidas e práticas agrícolas sustentáveis, devem ser exploradas como soluções viáveis para reduzir a dependência do glifosato e garantir a segurança alimentar e ambiental. No entanto, desafios persistem, em especial, a resistência das plantas daninhas demonstrando a necessidade de aprimorar os métodos de controle de pragas, considerando os aspectos agrônômicos, ambientais e de saúde, para garantir um futuro sustentável na agricultura.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). (2019). Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos>

Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2024). Índice monográfico-g01 – glifosato. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas-por-letra>

Amarente, O. P. Jr., Santos, T. C. R., Brito, N. M., & Ribeiro, M. L. (2002). Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, 25(4), 589–593. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>

Aslam, S., Jing, Y., & Nowak, K. M. (2023). Fate of glyphosate and its degradation products AMPA, glycine and sarcosine in an agricultural soil: Implications for environmental risk assessment. *Journal of hazardous materials*, 447, 130847. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130847>



Avaliação ambiental para registro de agrotóxicos, seus componentes e afins de uso agrícola. (s.d.). Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/avaliacao-ambiental>

Bortoloti, G., & Sampaio, R. M. (2022). Demandas tecnológicas: os bioinsumos para controle biológico no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 39(1), 269-27.

Brito, R. L. L., Oliveira, R. S., & Mendes, K. R. (2021). The expansion of glyphosate-resistant crops in Brazil: Implications and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 41624-41636.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2018, junho). Ficha de informação toxicológica. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Atualizado em fevereiro de 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wpcontent/uploads/sites/24/2022/02/Glifosato.pdf>

Chandler, D., Bailey, A. S., Tatchell, G. M., Davidson, G., Greaves, J., & Grant, W. P. (2020). The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. *Biological Control*, 104, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.05.014>

Cheah, U. B., Kirwood, R. C., & Lum, K. Y. (1997). Adsorption, desorption and mobility of four commonly used pesticides in Malaysian agricultural soils. *\*Pest. Sci.\**, \*50\*, 53-63. GAVRILESCU, M. Fate of pesticides in the environment and its bioremediation. *Engineering in Life Sciences*, v. 5, n. 6, p. 497-526, 2005.

Das, S., Wang, W., Reeves, S., Dalal, R. C., Dang, Y. P., Gonzalez, A., & Kopittke, P. M. (2022). Non-target impacts of pesticides on soil N transformations, abundances of nitrifying and denitrifying genes, and nitrous oxide emissions. *The Science of the total environment*, 844, 157043. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157043>

De Lima E Silva, C., & Pelosi, C. (2023). Effects of glyphosate on earthworms: From fears to facts. *Integrated environmental assessment and management*, 10.1002/ieam.4873. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ieam.4873>

Edge, C. B., Brown, M. I., Hartz, S., Thompson, D., Ritter, L., & Ramadoss, M. (2021). The Persistence of Glyphosate in Vegetation One Year after Application. *Forests*, 12(5), 601. <https://doi.org/10.3390/f12050601>

Ferreira, L. F., Costa, A. R. da, & Ceolin, S. (2020). Malformações congênitas e uso de agrotóxicos no município de Giruá, RS. *Saúde em Debate*, 44(126), 790–804.

Foloni, L. L., Velini, E. D., Carbonari, C. A., Rodrigues, J. D., Ono, E. O., & Cruz, R. Alcântara-de la. (2024). Glyphosate residues in coffee bean: Impact of application methods and compliance with MRLs. *Advances in Weed Science*, 42, Article e020240060. <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00006>

Froger, C., Jolivet, C., Budzinski, H., Pierdet, M., Caria, G., Saby, N. P. A., Arrouays, D., & Bispo, A. (2023). Pesticide Residues in French Soils: Occurrence, Risks, and Persistence. *Environmental science & technology*, 57(20), 7818–7827. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c09591>

Fuchs, B., Saikkonen, K., Damerou, A., Yang, B., & Helander, M. (2023). Herbicide residues in soil decrease microbe-mediated plant protection. *Plant biology (Stuttgart, Germany)*, 25(4), 571–578. <https://doi.org/10.1111/plb.13517>

Gillezeau, C., van Gerwen, M., Shaffer, R. M., Rana, I., Zhang, L., Sheppard, L., & Taioli, E. (2019). The evidence of human exposure to glyphosate: a review. *Environmental health: a global access science source*, 18(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0435-5>

Gilson, I. K., *et al.* (2020). Agrotóxicos liberados nos anos de 2019-2020: Uma discussão sobre a uso e a classificação toxicológica. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 49468–49479.

Gómez-Gallego, C., Rainio, M. J., Collado, M. C., Mantziari, A., Salminen, S., Saikkonen, K., & Helander, M. (2020). Glyphosate-based herbicide affects the composition of microbes associated with Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*). *FEMS microbiology letters*, 367(6), fnaa050. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa050>

Hernández, A. F., Marquès, M., & Menéndez, P. (2021). Glyphosate and cancer: A review of the scientific evidence. *Environmental Health*, 20(1), 92.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. (2021). Certificado de registro de acordo com o inciso IV, do art. 7o do Decreto no 4.074, de 04/01/02, que regulamenta a lei no 7.802, de 11/07/89. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/arquivos/agrotoxicos-de-uso-nao-agricola/registrados/2021/2021-07-08-Glifosato-Fersol-480-NA.pdf>

International Agency for Research on Cancer. (2015). \*IARC Monographs Volume 112: Evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides\*. Lyon, France.

Johnson, R., & Patel, S. (2021). Factors affecting the duration of glyphosate absorption: A comprehensive review. *Environmental Science and Technology*, 25(4), 567-580.

Kanatas, P., *et al.* (2021). Screening glyphosate-alternative weed control options in important perennial crops. *Weed Science*, 69(6), 704–718.

Leoci, R., & Ruberti, M. (2020). Glyphosate in Agriculture: Environmental Persistence and Effects on Animals. A Review. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*, 114(1), 99–122. <https://doi.org/10.12895/jaeid.20201.1167>

Leyo. (2011). Structure of aminomethylphosphonic acid [Ilustração]. *Own work*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aminomethylphosphonic\\_acid.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aminomethylphosphonic_acid.svg)

Lima, I. B., Boëchat, I. G., & Gücker, B. (2021). Glifosato no Brasil: uso, contaminação aquática, efeitos ambientais e perigos para a saúde humana. *Caderno de Geografia*, 31(e1), 90-115.

Matias, T. P., *et al.* (2021). Os agrotóxicos mais vendidos no Brasil: Implicações em meio ambiente e saúde. *Research, Society and Development*, 10(8), e12110817082.

Meftaul, I. M., Venkateswarlu, K., Dharmarajan, R., Annamalai, P., Asaduzzaman, M., Parven, A., & Megharaj, M. (2020). Controversies over human health and ecological impacts of glyphosate: Is it to be banned in modern agriculture?. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 263(Pt A), 114372. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114372>

Montagner, C. C., Silva, W. D. A., Riffel, C. P., Riffel, A., & Vaucher, R. D. A. (2021). Tóxicos para abelhas: revisão dos mecanismos de toxicidade e estratégias de mitigação. *Ciência Rural*, 51(4), e20170699. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170699>

- Morrás, H., Behrends Kraemer, F., Sainz, D., Fernández, P., & Chagas, C. (2022). Soil structure and glyphosate fate under no-till management in the Pampa region. II. Glyphosate and AMPA persistence and spatial distribution in the long-term. A conceptual model. *Soil and Tillage Research*, 223, Article 105471. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105471>.
- Motta, L. B., Rizzardi, M. A., & Vargas, L. (2023). Management practices to mitigate glyphosate-resistant weeds in Brazil. *Pest Management Science*, 79(1), 186-197.
- Muskus, A. M., Krauss, M., Miltner, A., Hamer, U., & Nowak, K. M. (2020). Degradation of glyphosate in a Colombian soil is influenced by temperature, total organic carbon content and pH. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 259, 113767. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113767>
- Nodari, R. O., & Hess, S. C. (2020). Campeão de vendas, cientificamente o Glifosato é um agrotóxico perigoso. *Extensio Revista Eletrônica de Extensão*, 17(35), 2–18.
- Oliveira, J. M., *et al.* (2021). How do pesticides affect bats? – A brief review of recent publications. *Brazilian Journal of Biology*, 81(2), 499–507.
- Organização Mundial da Saúde. (s.d.). Chemical safety: Pesticides. Recuperado de <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/chemical-safety-pesticides>
- Pereira, R. C., Melo, W. J., & Stolf-Moreira, R. (2020). Glyphosate detection in water sources of small rural communities: analysis using ELISA and gas chromatography-mass spectrometry. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192\*(8), 494.
- PerkinElmer Informatics. (2010). ChemDraw Pro 12.0 [Software].
- Piccoli, C., *et al.* (2019). Occupational exposure to pesticides and hematological alterations: A survey of farm residents in the South of Brazil. *Ciencia & saude coletiva*, 24(6), 2325–2340.
- Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos. (s.d.). Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2019/publicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos>
- Ramula, S., Kalske, A., Saikkonen, K., & Helander, M. (2022). Glyphosate residues in soil can modify plant resistance to herbivores through changes in leaf quality. *Plant biology (Stuttgart, Germany)*, 24(6), 979–986. <https://doi.org/10.1111/plb.13453>
- Relatórios de comercialização de agrotóxicos. (s.d.). Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>
- Russo, V., Strever, A. E., & Ponstein, H. J. (2021). Explorando potenciais de sustentabilidade em vinhedos através da ACV: Evidências de práticas agrícolas na África do Sul. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 1374–1390. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01911-3>
- Satichivi, V. R., Shaner, D. L., & Singh, M. (2000). Mechanism of action of glyphosate: a review of its metabolism, efficacy, and environmental concerns. *Crop Protection*, 19(6), 297–307. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00043-4)
- Seneff, S., & Samsel, A. (2015). Glyphosate, pathways to modern diseases III: Manganese, neurological diseases, and associated pathologies. *Surgical Neurology International*, 6(1), 45.

- Silva, M. R. L. R. (2015). Avaliação da toxicidade celular do herbicida glifosato em *Astyanax* spp. Saúde e Meio Ambient. Revista Interdisciplinar, 3(2), 62–69. <https://doi.org/10.24302/sma.v3i2.629.3>
- Singh, B., Kaur, T., & Kaur, S. (2019). Biopesticides: Formulation, Characterization, and Use in Sustainable Crop Protection. Trends in Plant Science, 24(1), 67–82. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.003>
- Smith, J., Jones, A., & Brown, K. (2020). The biphasic absorption of glyphosate: A comprehensive study. Journal of Agricultural Science, 15(3), 102-115.
- Soares, R. B., *et al.* (2020). Groundwater vulnerability to agrochemical contamination. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 55(4), 440–455.
- Teixeira, D. E., Paula, R. L. G., & Napolitano, H. B. (2019). Legislação e Normatização para o Glifosato no Brasil. Revista Processos Químicos, 13(25), 105–116.
- Toni, L. R., Santana, H. D., & Zaia, D. A. (2006). Adsorção de glifosato sobre solos e minerais. *Química Nova*, 29, 829-833.
- Tyler, H. L. (2022). Impact of 2,4-D and Glyphosate on Soil Enzyme Activities in a Resistant Maize Cropping System. Agronomy, 12(11), 2747. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112747>
- Ussiri, D. A. N., & Lal, R. (2019). Long-term impacts of glyphosate herbicide on agricultural soils: A review. Journal of Environmental Quality, 48(4) 939–947.
- Van Bruggen, A. H. C., Finckh, M. R., He, M., Ritsema, C. J., Harkes, P., Knuth, D., & Geissen, V. (2021). Indirect Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant, Animal and Human Health Through its Effects on Microbial Communities. Frontiers in Environmental Science, 9, Article 763917. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.763917>
- Vicini, J. L., Jensen, P. K., Young, B. M., & Swarthout, J. T. (2021). Residues of glyphosate in food and dietary exposure. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20(5), 5226–5257. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12822>
- Wei, Z., Qizheng, Y., Jinkai, S., Aihe, W., Hai, L., & Xuchao, Y. (2023). Photocatalytic degradation of glyphosate using Ce/N co-doped TiO<sub>2</sub> with oyster shell powder as carrier under the simulated fluorescent lamp. Frontiers in Environmental Science, 11, Article 1131284. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1131284>
- Wimmer, B., Langarica-Fuentes, A., Schwarz, E., Kleindienst, S., Huhn, C., & Pagel, H. (2023). Mechanistic modeling indicates rapid glyphosate dissipation and sorption-driven persistence of its metabolite AMPA in soil. *Journal of environmental quality*, 52(2), 393–405. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20437>

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as bolsas concedidas pela FACEPE para L.H.R. Processo IBPG-1127-3.06/24, N.F.P. Processo IBPG-1148-3.06/24, R.P.S. Processo IBPG-1122-3.06/24 e S.C.M.N, pela CAPES(Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) , e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) Processo nº 312241/2022-4 grant concedido a G.M.C.T.

# Mobilidade aérea urbana: análise da eficiência de um sistema UA (não tripulado) no mapeamento de solo nu ou exposto de manguezal urbano

José Nelson Bittencourt Santos Mendes

Mestrando em Análise de Sistemas Ambientais – Geotecnologias, PPGASA/CESMAC, Maceió-AL

Paulo Rogério Barbosa de Miranda

Prof. Dr., orientador do PPGASA/CESMAC, Maceió-AL

## RESUMO

Este estudo trata da análise do uso de um *Unmanned Aircraft System* (Sistema de Aeronave não-Tripulada ou Remotamente Pilotada) para mapeamento de solo nu ou exposto de manguezal urbano. Área escolhida: o manguezal do bairro de Jacarecica, em Maceió. Sua relevância está em que esses ecossistemas costeiros (26 de julho é o Dia Mundial de Proteção aos Manguezais, desde 2015), sofrem com as atividades antrópicas, como degradação, poluição, exploração econômica e desmatamento para projetos imobiliários. Empregou-se uma aeronave remotamente pilotada do fabricante líder mundial, DJI, o *Phantom 4 Camera*. O sensor óptico da aeronave, FC330, de 1 polegada (2,5 cm), foco de 3.61mm, 60fps, tem capacidade de tirar fotos com 20MP. A resolução espacial é de 4000x3000 (12.000.000 de pixels). A aeronave sobrevoou a área de estudo a 88,8m. O GSD (*ground sampling distance*), distância ou amostra do solo àquela altitude, foi de 3,8cm/pixel. O objetivo de análise do uso de RPA no mapeamento de um manguezal urbano, a fim de identificar solo nu ou exposto foi atingido. Com os resultados obtidos, pôde-se identificar, com precisão, os elementos que integram a área e adjacências, quais sejam: a) estruturas, como rodovia, casas, postes de eletrificação, veículos em geral (bicicletas, motocicletas, automóveis e veículos pesados); b) natureza, como vegetação (árvores, plantas distinguíveis), águas (rio e mar), areia da praia. O *zoom* permitiu até se perceber pegadas na areia da praia e pequenos objetos. Assim, o mapeamento identificou pequenas áreas de solo nu ou exposto, que não representam ameaça ou danos ao patrimônio natural.

**Palavras-chave:** sistema de aeronave remotamente tripulada; mapeamento aéreo; solo nu/exposto.

## ABSTRACT

This article deals with the analysis of the use of an Unmanned Aircraft System for mapping bare or exposed soil in urban mangroves. The area





chosen was the mangrove swamp in the Jacarecica neighborhood of Maceió. Its relevance lies in the fact that these coastal ecosystems (July 26 has been World Mangrove Protection Day since 2015) suffer from anthropogenic activities such as degradation, pollution, economic exploitation and deforestation for real estate projects. A remotely piloted aircraft from the world's leading manufacturer, DJI, the Phantom 4 Camera, was used. The aircraft's optical sensor, FC330, 1 inch (2.5 cm), 3.61mm focus, 60fps, is capable of taking 20MP photos. The spatial resolution is 4000x3000 (12,000,000 pixels). The aircraft flew over the study area at 88.8m high. The GSD (ground sample distance) at that altitude was 3.8cm/pixel. The objective of analyzing the use of RPA in mapping an urban mangrove swamp in order to identify bare or exposed soil was achieved. With the results obtained, it was possible to accurately identify the elements that make up the area and its surroundings, namely: a) structures, such as the highway, houses, electricity pylons, vehicles in general (bicycles, motorcycles, cars and heavy vehicles); b) nature, such as vegetation (trees, distinguishable plants), water (river and sea), beach sand. The zoom even made it possible to see footprints in the beach sand and small objects. The mapping thus identified small areas of bare or exposed soil, which do not represent a threat or damage to the natural heritage.

**Keywords:** remotely manned aircraft system; aerial mapping; bare/exposed soil.

## INTRODUÇÃO

Os manguezais integram o ecossistema costeiro, presente no Brasil em uma área de 14.000 km<sup>2</sup> (INPE, 2024). O País é o segundo em extensão dessa zona de transição entre o rio e o mar, e abriga 80% desse total nas regiões Norte e Nordeste, segundo a Organização Internacional de Madeiras Tropicais das Nações Unidas (STCP, 2024). Só para exemplificar, a Bahia possui 800 km<sup>2</sup> de manguezais. Em Alagoas, são 5.537,27 hectares (ha), consoante dados do Atlas dos Manguezais do Brasil (2018). Como a área do Estado é de 27.768 m<sup>2</sup>, isso representa 0,2% de seu território.

Urge, antes de mais nada, diferenciar aqui mangue de manguezal. Denomina-se *mangue* um tipo específico de vegetação, formada por diversas espécies vegetais e árvores que variam de acordo com a região e fatores tais quais: *salinidade*, *pH* e *teor de matéria orgânica presente no solo*; *manguezal* representa todo esse ecossistema: os fatores bióticos e os fatores abióticos. Consoante a pioneira do estudo dos manguezais no Brasil, desde 1976, a professora Shaeffer-Novelli (1990, p. 45) conceitua este último como “ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais, e sujeito ao regime das marés”.

Os manguezais urbanos são os que mais sofrem com as atividades antrópicas, como degradação, poluição, exploração econômica, bem como os processos erosivos. Acresça-se a isso o desmatamento para projetos imobiliários (Cabral *et al.*, 2011). O manguezal objeto desta pesquisa situa-se na bacia do rio Jacarecica, “uma das mais importantes do estado. Tem sido cada vez mais fonte de estudo de pesquisadores, devido ao crescente processo de urbanização” (Lima *et al.*, 2021, p.134).

No que diz respeito à bacia do rio Jacarecica, alguns trabalhos acadêmicos vêm sendo produzidos, quais sejam artigos, dissertações e teses. Nesses trabalhos os pro-



cessos erosivos ocorridos na bacia do rio Jacarecica e medidos por parâmetros hidrossedimentológicos têm sido pesquisados, o que beneficia o meio acadêmico e a sociedade alagoana como um todo. Além do mais, servem para orientar inclusive a tomada de decisão do poder público na edição de políticas públicas (Cabral *et al.*, 2011).

Sobre esse riquíssimo e estratégico ecossistema, ensinam Schaeffer, Do Vale e Cintrón (2015, p.62) que:

O ecossistema manguezal pode apresentar estrutura caracterizada por um continuum de feições: lavado, mangue (bosque de mangue) e apicum. Como lavado, considera-se a feição exposta à maior frequência de inundação, apresentando substrato lamoso ou areno-lamoso exposto, desprovido de qualquer cobertura vegetal vascularizada. A feição mangue apresenta cobertura vegetal típica, constituída por espécies arbóreas que lhe conferem fisionomia peculiar. Enquanto que a feição apicum pode estar envolvida pela feição mangue, ou limitando-se a esta em sua porção mais interna, atingida pelas águas estuarinas ou marinhas nas preamares de sizígia, equinociais e/ou empilhadas por aspectos da dinâmica atmosférica, tais como os sistemas frontais ou frentes frias.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2024), aos muitos benefícios que os manguezais fornecem à sociedade dá-se o nome de *serviços ecossistêmicos*. Assim, de acordo com a Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais, tais serviços podem ser classificados como: a) **serviços de provisão**, b) **serviços de suporte**, c) **serviços de regulação** e d) **serviços culturais**.

Do ponto de vista dos serviços ecossistêmicos relacionados aos benefícios materiais imediatos, os **serviços de provisão** e os **serviços de suporte** são os mais importantes. Os primeiros porque “fornecem bens ou produtos ambientais utilizados pelo ser humano para consumo ou comercialização, tais como água, alimentos, madeira, fibras e extratos, entre outros” (Brasil, 2015).

Os últimos são importantes porque:

Mantêm a perenidade da vida na Terra, tais como a ciclagem de nutrientes, a decomposição de resíduos, a produção, a manutenção ou a renovação da fertilidade do solo, a polinização, a dispersão de sementes, o controle de populações de potenciais pragas e de vetores potenciais de doenças humanas, a proteção contra a radiação solar ultravioleta e a manutenção da biodiversidade e do patrimônio genético (Brasil, 2015).

Todos esses benefícios, no entanto, são ameaçados constantemente pelas ações antrópicas. Para a finalidade deste trabalho, todavia, deu-se atenção à presença de solo nu ou exposto, causado pela degradação ambiental em virtude da supressão de árvores para fins diversos, o que facilita a exposição do solo, enfraquecendo-o e facilitando os processos hidrossedimentológicos.

Para Cabral (2016, p.1): “o estudo dos processos erosivos gerados pela ação da água pode ser denominado de Hidrossedimentologia”. Esse tipo de metodologia permite ao pesquisador identificar, calcular e analisar os efeitos da erosão, por exemplo, numa área de mangue. Assim, pode-se ainda estimar a produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica, tendo-se como parâmetro a influência dos efluentes oriundos dos bairros que fazem parte dessa bacia.

Sobre isso, em eminente dissertação de pesquisadores da Universidade Federal de Alagoas, afirma Cabral *et al.* (2011, p.123) que:

A influência dos tipos de usos como a urbanização e os solos expostos nos processos de produção de sedimentos ao longo da bacia foi bem evidenciada na escala espaço-temporal para o ano analisado, verificando que os planos com esses tipos de cobertura da terra produzem mais sedimentos ao longo do ano. Já a vegetação, predominante, principalmente na parte baixa da bacia, intercepta tanto o escoamento quanto a produção de sedimentos.

O autor explica que a “produção de sedimentos se origina do desprendimento de partículas sólidas do solo através dos processos erosivos” (Lopes *et al.*, 2011, p.24). Onde se originaria essa quantidade e material erodido? Para o autor, sua origem se dá nas vertentes, inicialmente.

Cabral *et al.* (2011) ainda ressalta que a erosão é causada, ao longo da bacia, pela mudança da maneira como as populações usam o solo e também pela alteração da cobertura vegetal deste. Por isso, a: “erosão acelerada provocada pelo aumento da urbanização e efeitos da variabilidade climática são as principais causas do aumento da produção de sedimentos em muitas das bacias hidrográficas brasileiras” (Cabral *et al.*, 2011, p.12).

Os manguezais podem ser identificados pelas imagens captadas pela aeronave remotamente pilotada, uma vez que os sensores embarcados são capazes de captar detalhes morfológicos do solo, das folhas, das árvores, das plantas, dos arbustos, da qualidade dessa vegetação. Além do mais, esse instrumento geotecnológico é hábil para diversos tipos de estudo, como a identificação e classificação da cobertura do solo ou da falta deste. É dizer, a metodologia empregada com esses equipamentos possibilita ao pesquisador identificar, localizar e classificar a incidência, por exemplo, de solo nu ou exposto.

Sobre o emprego dessa geotecnologia, comenta o pesquisador Nascimento (2006, p.2) que: “o uso de drones e suas tecnologias está crescendo em diferentes aplicações, tais como: fotogrametria, mapeamento ambiental e agrícola, georreferenciamento de imóveis, monitoramento urbano e acompanhamento de obras”.

Em esclarecedor artigo sobre os resultados do uso dessas aeronaves em mapeamento de solo exposto no estado do Paraná, Da Paz *et al.* (2021, p.8) afirma que:

As 22 áreas de manguezais analisadas apresentam em média 4,1 hectares de solo exposto. Na maioria dos casos, a área de solo exposto identificada se concentra nas franjas dos bosques de mangue. Expressivas diferenças de concentração de áreas de solo exposto são visualizadas quando se compara os bosques de mangue.

Sobre o efeito nefasto que a incidência de solo exposto pode causar ao meio os autores afirmam que:

Além de indicar o nível de degradação de um manguezal, áreas de solo exposto podem indicar espaços aptos à recuperação da vegetação. Neste contexto a área de manguezal 07 apresentou os maiores valores de solo exposto. De acordo com imagens do acervo Google Earth, o referido manguezal apresentava expressiva área de solo exposto em outubro de 2002, situação revertida ao se observar a imagem de abril de 2013, onde a área de solo exposto estava ocupada por vegetação de manguezal (Da Paz *et al.*, 2021, p. 8).

Vê-se acima que os atores deixam evidente que os resultados das pesquisas com a RPA podem ser comparados às imagens que os satélites registram ao longo dos registros históricos. Quer dizer, os satélites registram imagens ao longo de sua passagem pela Terra (resolução temporal). Isso possibilita o estudo temporal, histórico das mais diversas áreas e fenômenos que ocorrem no planeta (INPE, 2024).

Acrescente a essas observações o fato de uma aeronave remotamente pilotada também poder fazer registros temporais dos locais e processos que ocorrem no espaço geográfico. Eis uma forma de utilização de imagens provenientes de imagens gratuitas de satélites, cujas resoluções espaciais são mais empregadas para o estudo de grandes áreas, grandes extensões, como uma cidade, um estado, uma região, um país. O problema é que as resoluções não são menores que 8m por pixel (INPE, 2024).

Nesta pesquisa, vem-se afirmando que as operações com o Phantom 4 Camera, na área do manguezal de Jacarecica, registraram imagens com resolução espacial de 1,5cm e , 3,8 cm /pixel. Isso significa que as imagens da aeronave registraram objetos com 1.5cm 3,8cm. Isso não é possível ainda com os satélites que disponibilizam imagens gratuitas, como LANDSAT (resolução espacial de 8m), COPERNICUS, SENTINELA 2 (Souza, 2015).

Os satélites comerciais mais poderosos (pagos) oferecem resolução espacial de 40cm – o que quer dizer que as imagens podem capturar objetos de 40cm (numa área de 40cm x 40cm) (INPE, 2024). Com essas dimensões, dá para analisar estruturas extensas, grandes, espaçosas, como florestas, bosques, rios, lagoas, mares, estradas, rodovias, caminhos, picadas, estruturas naturais ou feitas pelo homem. Pode-se ver até a areia da praia, mas não objetos deixados na areia, nem pegadas (Frizodrone, 2023).

O mapeamento com esse tipo de aeronave possui mais benefícios do que desvantagens. Os custos são irrisórios, se comparados com as imagens satelitais. O trabalho de várias pessoas pode ser feito por uma ou duas. O tempo e o custo gasto com equipamentos pesados são impensáveis. O acesso a locais perigosos e difíceis é facilitado pela aeronave, sem que se ponha em risco a incolumidade das pessoas (Frizodrone, 2023).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente artigo teve como principal procedimento metodológico a realização de operação com uma aeronave remotamente pilotada (RPA, em inglês) sobre o bosque de mangue do bairro de Jacarecica, em Maceió, Alagoas. Para tal feito, são necessários alguns requisitos quanto à aeronave e quanto ao piloto.

Segundo a Instrução do Comando da Aeronáutica - ICA, existem 3 exigências básicas para a aeronave operar no espaço aéreo do Brasil. Primeiro, é preciso que a RPA seja homologada pela Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL; em segundo lugar, a aeronave precisa ser registrada na Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC; em último lugar, o piloto precisa realizar cadastro no Departamento de Controle de Acesso ao Espaço Aéreo – DECEA (vinculado à Aeronáutica). Este órgão possui um sistema *online*, denominado SARPAS NG (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas).



**Figura 2 - Imagem de satélite da área de estudo.**

**Imagem de satélite**



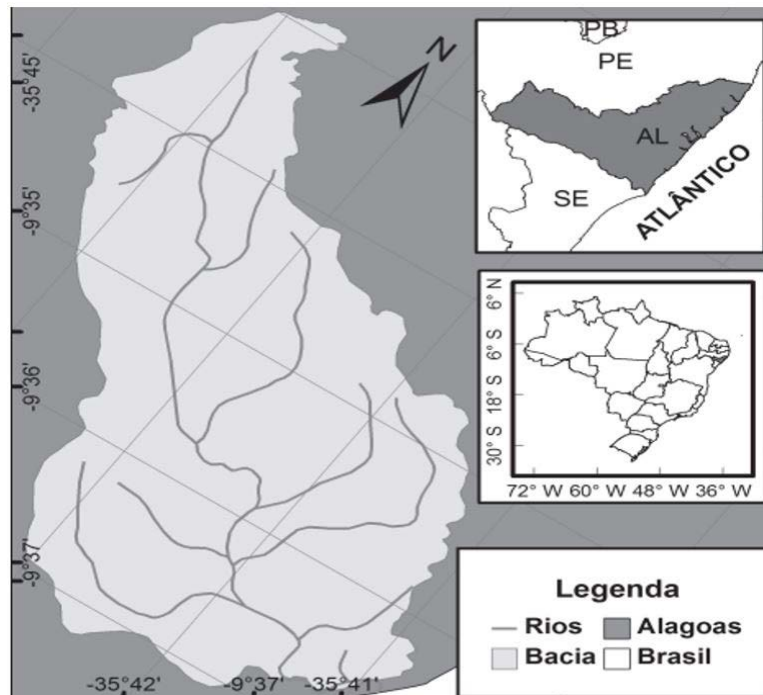
**Imagem streetview**



Fonte: Google Earth, 2024 e OpenStreetMap, 2024, processadas no QGIS pelos autores.

Essa área integra a bacia hidrográfica do rio Jacarecica (figura 3). Sobre essa bacia, afirma Cabral *et al.* (2011, p.1). “Trata-se de uma bacia relativamente pequena, que drena uma área de aproximadamente 24,5 km<sup>2</sup>. O rio principal tem mais ou menos 13 km de extensão. A pluviosidade média anual é de 1.654 mm”.

**Figura 3 - Mapa de localização da Bacia do Rio Jacarecica.**



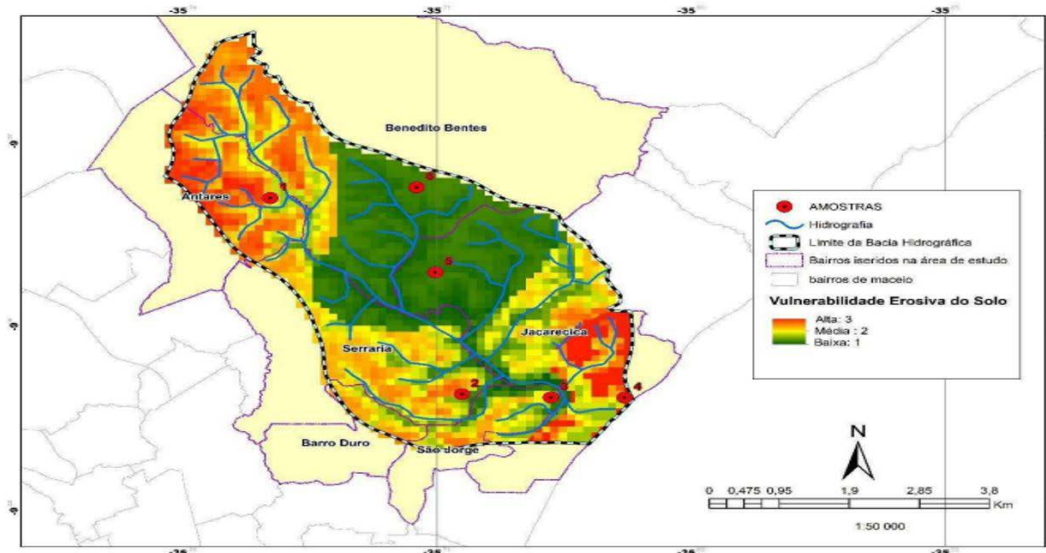
Fonte: Cabral *et al.* 2011.

A área de manguezal, inclusive, está localizada em importante área da cidade, uma vez que a bacia do rio Jacarecica situa-se na Região Administrativa 8, juntamente com os bairros Cruz das Almas, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca (litoral norte de Maceió), região essa que iniciou seu povoamento assim que Alagoas se separou de Pernambuco.









Fonte: Lima et al. 2021.

### Dados da Captação de Imagens Aéreas

Foram captadas 47 imagens aéreas pelo sensor ótico FC330 (6.317mm x 4,738mm), embarcado numa aeronave remotamente pilotada-RPA, DJI Phantom 4. Esta aeronave é “equipada com um sensor de 1 polegada. Sua câmera produz vídeos com 4k, com 60fps (frames por segundo) e fotos com 20MP (megapixel). Tem um tempo máximo de voo de 30min e um alcance de transmissão de 7 km (4,1 milhas)” (DJI, 2024).

Tabela 1 – Dados técnicos do sensor.

Tipo	Resolução espacial	Comprimento focal	Tamanho do pixel
moldura	4000x3000	3.61mm	1.56 x 1.56

A aeronave foi operada em uma altitude de segurança, haja vista a construção do complexo imobiliário KAA Residencial, cuja altura é de mais de 60m, sem o guindaste. Em virtude disso, a operação foi feita a 88,8m de altitude e com 30m de distância desse obstáculo, consoante a legislação, mormente a Instrução do Comando da Aeronáutica, ICA 100-40, de 03.07.2023 (Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro), sem que isso comprometesse a riqueza dos detalhes captados pelo sensor supra (pixel de 1.56x1.56).

O horário escolhido para a captação das imagens, denominadas *câmeras* pelo sistema embarcado, foi às 14:20, do dia 15 de janeiro de 2024, pelas condições meteorológicas favoráveis. Para a garantia destas, empregou-se as informações meteorológicas do App UAV Forecast – uma precisa, confiável e preciosa ferramenta para todas as informações propícias à navegação: *clima, horários do sol, temperatura, vento, rajadas, direção do vento, visibilidade, probabilidade de precipitação, capa de nuvem, satélites visíveis, índice kp* (mede a atividade do campo magnético da Terra).

**Figura 6 - Print do App UAV Forecast.**



Fonte: App UAV Forecast

### Dados do Modelo e Especificações Técnicas da Aeronave Remotamente Pilotada

O sistema de UA ou *Unmanned Aircraft* (aeronaves pilotadas remotamente, portanto sem piloto a bordo e tripulação) possui aeronaves de dois tipos, quanto ao modo de operação: asa fixa e rotores. No primeiro caso, tem-se uma RPA estilo avião tradicional. Nesta pesquisa, empregou-se uma aeronave com 4 rotores, com hélices.

**Figura 7 - Tipos de UAS (Unmanned Aircraft System).**

**MULTIROTOR**



**ASA FIXA**



Fonte: Oligosbiotec, 2022.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O plano de operação (voo) foi pré-configurado no DroneDeploy Flight App, versão *mobile* 5.22.0. Trata-se de um dos aplicativos de operação automática de aeronave remotamente pilotada. Assim, optou-se pelas configurações padrão, mas ao mesmo

tempo foi possível configurar a operação segundo as necessidades locais da pesquisa de mapeamento do bosque do manguezal de Jacarecica.

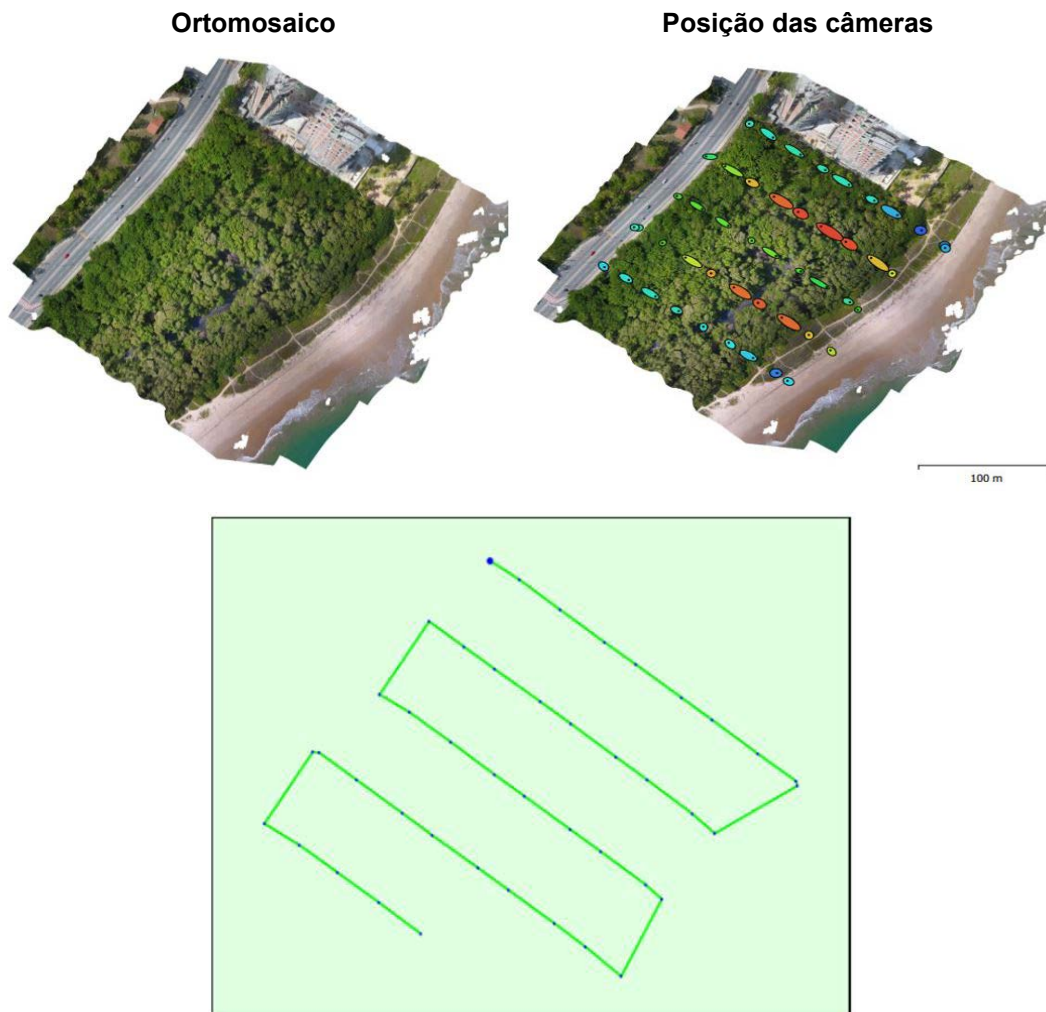
Em primeiro lugar, foram registradas 47 imagens do local escolhido do manguezal, uma área de 6 hectares (60.000 m<sup>2</sup>). Foi necessária apenas parte da carga de uma bateria. A operação requereu 4min e 29 segundos. Quanto à altitude de operação, optou-se por operar a 88,8m, visto os prédios do Residencial vizinho estarem a 60m de altura. De acordo com a Instrução do Comando da Aeronáutica, ICA 100-40, de 15.05.2023, para aeronave até 25 Kg, a atitude máxima de voo permitido é de até 120m ou 400 pés:

As Aeronaves Não Tripuladas com PMD até 25 kg, operando VLOS e até 400 ft AGL (aproximadamente 120 metros de altura), independentemente da classe do espaço aéreo sobrevoado, salvo determinação contrária, estarão dispensadas do uso do *transponder* (ICA 100-40, Operações em Alturas Muito Baixas, 6.2.1.1).

Ainda dentro das configurações de operação, o sistema automático operou a aeronave a 10m/s, o equivalente a 36m/h. Assim, a **velocidade de voo de mapeamento** da área acima, com 6 hectares, durou 4min e 29 segundos, com a câmera a um ângulo de -90°, gerando um total de 47 imagens, posteriormente transformadas em uma só imagem georreferenciada, em ortomosaico, conforme se verá mais adiante.

Para um mapeamento bem-sucedido, é necessário que as operações da aeronave sejam automáticas. É claro que, a qualquer tempo, o piloto ou operador da RPA pode intervir, fazendo que a aeronave pouse ou execute outras funções, por exemplo.

**Figura 8 - Ortomosaico da área sobrevoada e posição das câmeras.**



Fonte: Relatório do mapeamento Agsoft Metashape, 2024.

Para a consecução dos ortomosaicos, as 47 imagens captadas pela aeronave foram sobrepostas segundo o padrão para áreas urbanas. É dizer, empregou-se o percentual de 75% para a *Sobreposição Frontal* e 65% para a *Sobreposição Lateral*. As imagens aqui se diferem daquelas tiradas sem uma aeronave. Como estas são georreferenciadas, cada uma delas possui informações de altitude, latitude e longitude (x, y e z). As fotos registradas pela RPA são sequenciais, daí a importância da sobreposição. Sobre isso afirma Mappa (2020, p.1):

A sobreposição de imagens é peça-chave neste ponto – ela será o elo entre as várias fotos sequenciais feitas pelo drone na hora de amarrar o mapa. Ao utilizar dados de GPS para conduzir o seu voo automático, o drone registra as informações de posicionamento e altitude em todas as fotos. Cada foto terá pontos em comum com a foto anterior e com a próxima, permitindo ao algoritmo de processamento triangular a informação contida nesses pontos e “amarrar” as fotos em um ortomosaico (Mappa, 2024).

Quanto aos modos de voo automáticos, o sistema oferece alguns, de acordo com os objetivos das imagens a serem captadas. Para a consecução de uma acurácia elevada, deve-se utilizar o voo cruzado, porquanto o sensor da RPA captará imagens de diversos ângulos de um mesmo objeto (o que requer uma quantidade maior do número de imagens a serem processadas, demandando mais tempo).

Além disso, para os projetos que requerem produtos em 3D dos objetos, áreas ou estruturas, a aeronave desenvolve modos especiais de voo, com a câmera em -45°, por exemplo, e captação de imagens do “Perímetro 3D” e “Padrão Cruzado 3D” (Frizodrone, 2023).

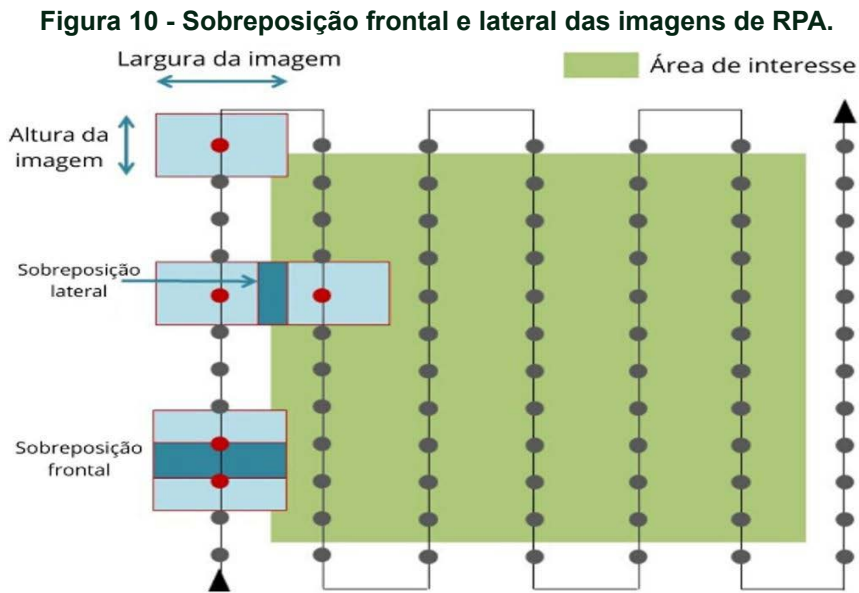
**Figura 9 – Modos de voo e cobertura da aeronave.**

Modos Automáticos de Voo (operação)			
Campo	Terreno	Estruturas	Hachura
Destinado a plantações	Destinado a montes elevados, topo de árvores ou telhado	Destinado a estruturas até 50m altura	Destinado a projeto de modelado 3D em grande escala, dobra o número de imagens

**Fonte: adaptados pelos autores, 2024.**

Haja vista a necessidade técnico-metodológica de haver diversas imagens captadas dos mesmos objetos, é necessário que as imagens equivalentes sejam sobrepostas umas às outras. Esse procedimento requer sejam as imagens sobrepostas frontal e lateralmente. Para Mappa (2024), porquanto “será o elo entre as várias fotos sequenciais feitas pela RPA na hora de amarrar o mapa”. Para as áreas rurais, 80% frontal e 60% lateral. Segundo a DronEng (2023), exige-se o mínimo nos procedimentos de sobreposição de imagens, sendo 60% frontal e 30% lateral. No geral, usam 75% e 65%, respectivamente.





Fonte: Mappa, 2024.

As 47 imagens capturadas pelo Phantom 4 Camera no manguezal da pesquisa possuem várias delas tiradas do mesmo objeto. Isso torna possível o princípio da estereoscopia, isto é, a sobreposição de imagens idênticas produz o efeito de maior precisão. Então, quanto mais imagens houver dos mesmos objetos, nas mesmas posições, o ortomosaico (soma de todas as imagens e suas respectivas correções) representará a realidade com maior precisão e acurácia.

## O Mapeamento com esse Tipo de Aeronave

De acordo com a Master Ambiental (2022, p.1): “o mapeamento com drones é uma técnica que utiliza aeronaves não tripuladas com câmeras para capturar imagens aéreas de alta qualidade e precisão”. Diferentemente do que se pode imaginar, esse procedimento é fruto da captura de diversas imagens dos mesmos objetos, a fim de não se perder nenhum detalhe do que está sendo fotografado. “Essas imagens são processadas e transformadas em dados geográficos, permitindo a criação de mapas detalhados e a realização de análises precisas” (Master Ambiental, 2023, p.1).

Para o processamento das imagens capturadas pela RPA, existem no mercado diversos Apps: Agisoft Metashape, Pix4D, Global Mapper, WebOdm. Alguns são gratuitos; outros, porém, são pagos (chegando à casa dos R\$ 20 mil). Assim, para a consecução dos objetivos deste trabalho, as imagens foram processadas no App Agisoft Metashape Professional, versão 1.6.3 *build* 10723.

**Tabela 2 – Opções de Processamento e Configuração do Sistema.**

OPÇÕES DE PROCESSAMENTO	
Hardware	CPU: Intel(R) Celeron(R) CPUN2808 @1.58GHz RAM: 4GB GPU: Intel(R) HDGraphics (Driver: 10.18.10.5161)
Sistema Operacional	Windows 10 Pro, 64-bit
Modelo de Câmera	FC330_3.6_4000x3000 (RGB)
Sistema de Coordenadas de Imagem	WGS84 (egm96)
Sistema de Coordenadas de Saída	WGS84 / zona UTM 25S

**OPÇÕES DE PROCESSAMENTO**

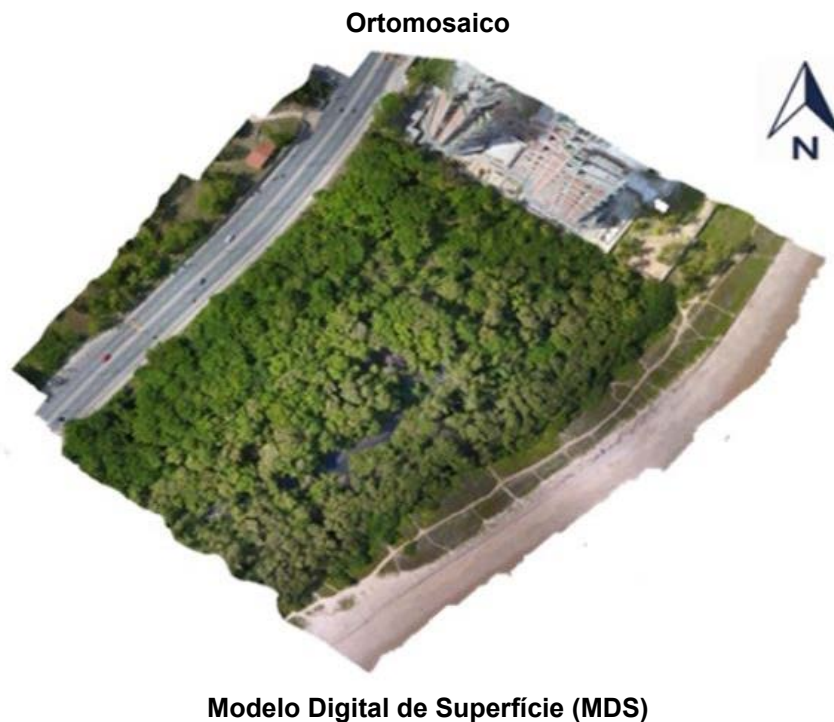
Escala	Completa, Escala da Imagem: 1
Avançado: Correspondência de Pares de Imagens	Grade Aérea ou Corredor
Avançado: Estratégia de Correspondência	Usar Correspondência Geometricamente Verificada: não
Avançado: Extração de Pontos-Chave	Número Pretendido de Pontos-Chave: Automático
Avançado: Calibragem	Método de Calibragem: Padrão, Otimização de Parâmetros Internos: Todos, Recompensar: sim

**Fonte: tradução do Relatório Pix4D pelos autores, 2024.**

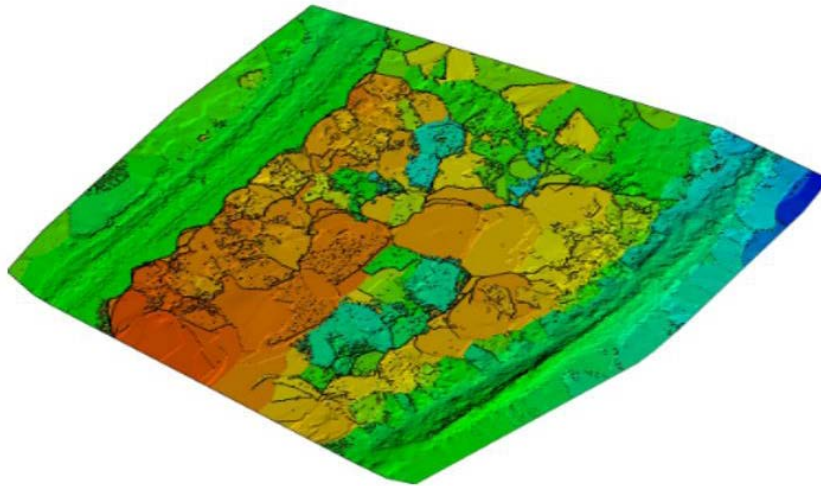
Uma vez captadas as imagens pela aeronave remotamente pilotada, e gravadas em cartão SD, restou carregá-las para o software de processamento *Agisoft Metashape Professional*. Após o recarregamento destas para o computador em que o processamento foi feito, uma sequência ou etapas de procedimentos foi necessária. O primeiro deles “Carregar fotos” faz o software buscar essas imagens e segundo lugar, “Alinhar fotos”. O processamento tem início exatamente neste ponto.

Este procedimento enseja a construção da uma **nuvem de pontos**, as imagens são transformadas em pontos, mediante o que foram gerados os demais produtos, como MDE (Modelo Digital de Elevação), MDS (Modelo Digital de Superfície), MDT (Modelo Digital de Terreno), Textura e ORTOMOSAICO, o último dos quais o mais importante para os objetivos do mapeamento do manguezal urbano, para fins de análise da eficiência da aeronave em identificar possíveis incidências de solo nu ou exposto.

**Figura 11 - Ortomosaico da área norte do manguezal e Modelo Digital de Superfície (MDS).**







Fonte: Produtos do processamento feito pelos autores, 2024.

Esse *Orthomosaic*, de tamanho 12,888 x 10,812 (= 1m e 40cm), foi o resultado do alinhamento e processamento das 47 imagens do Phantom 4 Camera. Resultou da nuvem de pontos que produziu o DEM (Modelo Digital de Elevação), processamento realizado tendo como base o Sistema de Coordenada Geográfica UTM e o **Datum** WGS 84 (muito semelhante ao SIRGAS 2000).

Com a aeronave sobrevoando a área escolhida do mangue a uma altitude de 88,8m é possível perceber, com extremada nitidez, precisão e acurácia, os elementos constituintes da paisagem captada pelas 47 imagens da RPA. Quanto aos elementos que nos interessam, tem-se que a área de manguezal possui cobertura vegetal densa, com árvores diversificadas, cuja tonalidade verde (clorofila) diferencia umas árvores das outras. Os contornos e as águas do rio Jacarecica podem ser vistos, distintos da vegetação.

No entanto, vê-se nitidamente que a área mais oriental do bosque de mangue – a parte externa, perto da areia da praia --, apresenta vários caminhos e picadas ao longo das restingas. Possui, portanto, trechos inteiros sem a cobertura vegetal, que provavelmente se desfez pelas constantes pisadas humanas e ou animais sobre a cobertura do mangue.

Os parâmetros do alinhamento das imagens foram de Precisão Média, com limite de 40,000 pontos por imagem, 10% disso para os limites de Limite de Ponto de Nó, ou 4,000 pontos. Essa operação gastou apenas 14min e 51 segundos, enquanto a tarefa de Alinhamento levou 2min e 36 segundos.

As análises mais profundas e específicas quanto a áreas de solo exposto sugerem que as picadas abertas da área da praia ao interior da área pesquisada são caminhos de acesso a esta, para fins desconhecidos. O que se pode afirmar é que a presença de solo exposto ou nu nesse local faz presumir o constante acesso de pessoas ao longo da praia e desta para o interior do mangue.

**Figura 12 - Foto individual de área com solo nu ou exposto.**



**Fonte: autores, 2024.**

**Figura 13 - Pegadas humanas ao longo da areia da praia.**



**Fonte: autores, 2024.**

A figura 5 é o mapa dos níveis de vulnerabilidade a erosão nas áreas da bacia de Jacarecica. Em seu trabalho de pesquisa na área de “Geoprocessamento como ferramenta de apoio a tomada de decisões em conjunto com análise de campo”, Lima *et al.* (2021, p. 143), afirma que:

Conhecendo-se a distribuição espacial da vulnerabilidade é possível definir áreas passíveis de mitigação, demarcando e delimitando corretamente prováveis ações que possuem maior vulnerabilidade erosiva e conseqüentemente, aviadados a fatores externos (Lima *et al.*, 2021, p. 143).

De acordo com as pesquisas da equipe citada, a área em que se localiza o manguezal de Jacarecica, a sudeste da Bacia Hidrográfica do rio de mesmo nome, não representa risco elevado a erosão. Para a equipe, a classificação de sua vulnerabilidade a erosão do solo é “baixa”.

É exatamente para isso que o mapeamento com *Aeronave Remotamente Pilotada* representa, como Phantom 4 Camera, importante ferramenta geotecnológica no auxílio à identificação dessas áreas de vulnerabilidade a que alude o ator supra, uma vez que esta tecnologia é capaz de mapear, com precisão e acurácia científicas críveis, diferentes áreas de estudo, oferecendo como produtos das operações (voos) e posterior processamento

dessas imagens: a) Nuvem Densa de Pontos, b) Modelo Digital do Terreno, c) Modelo Digital de Superfície, d) Modelo Digital de Elevação, e) Textura e f) Ortomosaico de imagens Georreferenciadas.

Dessa forma, como para os autores citados a declividade é uma das “variáveis que possui peso na determinação de um índice de vulnerabilidade erosiva” (Lima *et al.*, 2021, p. 142), saiba-se que o processamento de imagens captadas pelo tipo de aeronave discutida neste trabalho oferece a diversos profissionais de diferentes áreas, como Engenharia Ambiental, Engenharia Civil etc., os seguintes produtos: **Modelo Digital de Elevação** (orientando quanto aos níveis do terreno, o que favorece a incidência e quantificação da declividade), **Modelo Digital de Superfície** (Figura 11) e **Modelo Digital do Terreno**.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização de uma *Aeronave Remotamente Pilotada*, pertencente ao UAS ou *Unmanned Aircraft System* (Sistema de Aeronave Não-Tripulada) para o mapeamento de manguezal urbano a fim de averiguação da incidência de solo nu ou exposto, foi possível analisar a eficiência desse sistema nos procedimentos de mapeio da área de manguezal urbano de Maceió, visto que o ortomosaico deixa entrever as áreas de solo exposto, ao longo da margem desse rio e bem próximo à areia da praia.

Por fim, o nível de detalhamento das imagens é tanto que é possível ver pegadas humanas ao longo da areia da praia, o que até o momento as imagens gratuitas de satélites não conseguem registrar.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021**. disponível em [www.planalto.gov.br/ACesso](http://www.planalto.gov.br/ACesso) EM 20.04.2024

CABRAL, Samuelsson Lopes. **Avaliação dos processos sedimentológicos** na bacia do rio Jacarecica, em Maceió-AL, Dissertação, 133 f., Universidade Federal de Alagoas, 2011.

\_\_\_\_\_; Reis, Rosangela. **Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do rio Jacarecica**, Revista de Geografia, V. 32, SP, 2015.

DA PAZ, Otacílio Lopes de Souza *et al.* **Análise da eficiência do uso de aeronaves remotamente pilotadas no mapeamento de solo exposto em manguezais urbanos**, Revista Sociedade & Natureza, 2 mar 2021, Paraná.

DECEA. **Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Brasil, Instrução do Comando da Aeronáutica-ICA100-40**. disponível em [www.deceamil.br/ACesso](http://www.deceamil.br/ACesso) EM 18.04.2024.

DJI, Phantom Series, disponível em [www.dji.com/ACesso](http://www.dji.com/ACesso) EM 20.04.2024

DRONEN. **Seminário sobre Mapeamento com Drones**. disponível em [www.droneng.ead.com/ACesso](http://www.droneng.ead.com/ACesso) EM 20.04.2024

DRONESHOW. **Droneshowrobotics**. disponível em [www.droneshowla.com.br/ACESSO](http://www.droneshowla.com.br/ACESSO) EM 18.04.2024

FRIZODRONE, Apostilas do Curso de Mapeamento com RPA, novembro de 2023, MOOCA, São Paulo.

LIMA, Cristiano Seabra de; Rosangela Sampaio Reis. **Análise Temporal na Bacia do Rio Jacarecica com Ênfase nas Mudanças do Uso do Solo da Região e na Influência da Macrodrenagem da Bacia do Tabuleiro do Martins**, XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, de 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília-DF.

LIMA, Thyago A. S; BARBOSA, Anderson; VALDEVINO, Diego da Silva. **Caracterização da vulnerabilidade erosiva do solo na bacia hidrográfica do rio Jacarecica, no município de Maceió – AL**, Capítulo 16, P Planejando Cidades, Algarve, Portugal , 2021.

INPE- **Instituto de Pesquisas Espaciais-**, Brasil, disponível em [www.inpe.gov.br/ACESSO](http://www.inpe.gov.br/ACESSO) 20/04/2024.

MASTERAMBIENTAL. **Gestão de Mudanças Climáticas**. disponível em [www.materambiental.com.br/ACESSO](http://www.materambiental.com.br/ACESSO) EM 20.04.2024

MAPPA. **Cursos de Mapeamento com Drones**. disponível em [www.mappa.ag/ACESSO](http://www.mappa.ag/ACESSO) EM 20.04.2024

MMA – **Ministério do Meio Ambiente**. Brasil, disponível em [www.mma.gov.br/ACESSO](http://www.mma.gov.br/ACESSO) EM 20.04.2024

MUNDOGEO, disponível em [www.mundogeoconnect.com.br/ACESSO](http://www.mundogeoconnect.com.br/ACESSO) EM 20.04.2024.

NASCIMENTO, Francisco Ivam Castaro do. **Aspectos conceituais sobre o uso e aplicação de drones no georreferenciamento**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 06, Ed. 04, Vol. 04, pp. 65-82. Abril. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/dronesnogeorreferenciamento>

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; DO VALE, Claudia Câmara ; CINTRÓN, Gilberto **Monitoramento do Ecossistema Manguezal: Estrutura e Características Funcionais** in Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros, Cap. 4, Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – REBENTOS, São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015, p. 62-80.

SANTOS et Al. **Identificação dos Serviços Ecossistêmicos prestados pelo manguezal da Ilha do Maranhão – MA, Brasil**. Volume 4, Número Especial REGNE, 2018.

SOUZA, Milena Caramori Borges de. **Influência da mata ciliar na qualidade da água de trecho do rio Jacarecica – Maceió/AL**, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação, 195 f. , 2012.

SOUZA, Edson de Oliveira *et al.* **Uso e cobertura do solo na bacia do rio Jacarecica (Maceió-AL) utilizando imagem de Quckbird**, Simpósio sobre as Geotecnologias e geoinformação no Estado de Alagoas, 17 e 18 de setembro de 2015.

STCP, **Boletim global sobre o mercado de produtos florestais tropicais**, disponível em [www.stcp.com.br/ACESSO](http://www.stcp.com.br/ACESSO) EM 25.04.2024.



# Avaliação da água de nascentes e do ponto de captação no município de Mamanguape - PB

**Maria Silvíclia da Silva Tavares**

*Graduada em Bacharelado em Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, Av. Santa Elizabeth, s/n Centro Rio Tinto – PB CEP: 58297-00*

**Évio Eduardo Chaves de Melo**

*Professor do Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Av. Santa Elizabeth, s/n Centro Rio Tinto – PB CEP: 58297-00*

## RESUMO

A água é a substância mais abundante no planeta, possuindo um papel fundamental no meio ambiente e na vida humana. Para sua preservação através de uma gestão adequada, o primeiro passo é o monitoramento da qualidade da água, a fim de caracterizar aspectos físico-químicos que permitem diagnosticar as mudanças ocasionadas por ações antrópicas ou naturais, no uso e na ocupação da terra. Este trabalho tem como objetivo analisar a qualidade da água de nascentes e do ponto de captação no município de Mamanguape por meio de análises físico-químicas. Foram analisados três nascentes e um ponto de captação quanto aos parâmetros temperatura, pH, CE, OD, STD, turbidez, dureza e alcalinidade, além da realização de um diagnóstico visual. Das análises realizadas algumas se encontraram em desacordo as legislações vigentes, resultantes da presença antrópica no local, ressaltando modificações gradativamente na qualidade da água. No diagnóstico ambiental, esses pontos amostrais também sofreram com impactos antrópicos, motivo pelo qual se faz necessária a tomada de medidas mitigadoras, como a conscientização da sociedade para a preservação dos corpos hídricos, a fim de garantir a qualidade da água.

**Palavras-chave:** parâmetros físico-químicas; meio ambiente; corpos hídricos.

## ABSTRACT

Water is the most abundant substance on the planet, playing a fundamental role in the environment and in human life. For its preservation through proper management, the first step is the monitoring of water quality, in order to characterize physical-chemical aspects that allow diagnosing changes caused by anthropic or natural actions, in the use and occupation of the soil. This work aims to analyze the quality of water from springs and from the catchment point in the municipality of Mamanguape through physico-chemical analyses. Three springs and one capture point were analyzed,



regarding the parameters temperature, pH, EC, DO, STD, turbidity, hardness and alkalinity, in addition to performing a visual diagnosis. From the analyzes carried out, some were in disagreement, due to the human presence in the area, gradually showing changes in water quality. In the environmental diagnosis, these sampling points also suffered anthropic impacts, which requires mitigating measures, such as raising society's awareness of the preservation of water bodies to ensure water quality.

**Keywords:** physicochemical parameters; environment; hydrous body.

## INTRODUÇÃO

A água ocupa um lugar de destaque entre os recursos naturais. É a substância mais abundante no planeta, embora disponível em diferentes quantidades e em diferentes compartimentos. Possui papel fundamental no ambiente e na vida humana e nada a substitui, pois, sem ela, a vida não pode existir (Donadio *et al.*, 2005).

Segundo Pinto *et al.* (2012) nascente é o local onde a água subterrânea aflora naturalmente. Calheiros *et al.* (2009) define nascente como o afloramento do lençol freático que vai dar origem a uma fonte de água de acúmulo como os lagos e lagoas ou cursos d'água (regatos, ribeirões e rios), sem lugar bem definido, podendo ser formada por uma área por exemplo. Dessa forma, o sistema de nascentes, constituído pela vegetação, solo, rochas e relevo das áreas adjacentes e ao montante das nascentes, deve ser preservado.

De acordo com Calheiros *et al.* (2009), as nascentes podem ser perenes (de fluxo contínuo), intermitentes (fluxo na estação chuvosa) ou efêmeras (surgem na estação chuvosa, permanecendo apenas por alguns dias ou horas). As nascentes perenes, temporárias e as efêmeras e as matas ciliares exercem inúmeras funções de importância na natureza, que vão desde a retenção de água no sistema de armazenagem subterrânea, passando pelo controle de processos erosivos e de assoreamento de corpos hídricos (Soares, 2011).

As nascentes perdem as capacidades quantitativa e qualitativa da água quando é alterada por ações antrópicas, em ambientes de contribuição natural de infiltração em seu entorno e na área de recarga do lençol freático, comprometendo seu reabastecimento e sua produção de água (Rodrigues, 2006).

A utilização da água é de primeiro uso na dessedentação humana e animal. A água que é encontrada na natureza pode ser imprópria para consumo. Mesmo quando cai em forma de chuva, ainda contém impurezas. E quando toca o solo, absorve substâncias impuras modificando ainda mais sua qualidade (Silva, 2019).

Na região urbana dos municípios brasileiros, normalmente a água de consumo humano é tratada e distribuída por agências privadas ou governamentais que trata este recurso e o disponibiliza de forma segura, realizando todas as análises e garantindo a não ocorrências de contaminantes e assegurando sua potabilidade para a população. Na grande maioria, a captação da água pode vir a ser realizada até mesmo por proprietários ou pela população, e não há nenhum controle de qualidade dessas águas.



Para uma gestão adequada dos recursos hídricos, o primeiro passo é o monitoramento da qualidade da água, a fim de caracterizar aspectos físico-químicos que permitem diagnosticar as mudanças ocasionadas por ações antrópicas ou naturais, no uso e na ocupação da terra e entre outros (Queiroz *et al.*, 2010). A qualidade da água pode ser caracterizada por diversos parâmetros, que representam as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água das nascentes e do ponto de captação do município de Mamanguape - PB através dos parâmetros físico-químicos e do diagnóstico visual das áreas circunvizinhas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

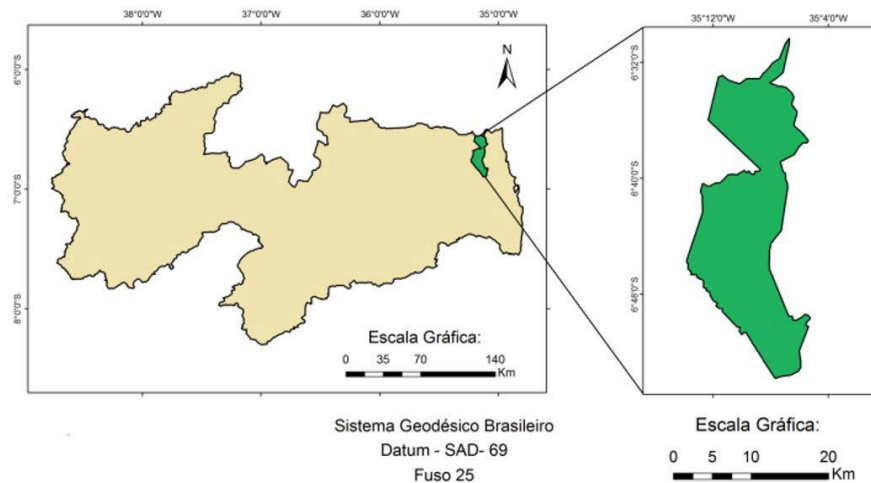
A área de estudo corresponde em parte da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape – PB (figura 1), compreendendo o município de Mamanguape que está localizado no litoral norte da Paraíba em uma área territorial de 340.482 Km<sup>2</sup> localiza-se entre as latitudes -35°15'00" e longitude -06°54'49". De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no ano de 2020 sua população era estimada em 45.136 habitantes. A água que abastece a cidade é fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), tem origem do açude Jangada, situado no bairro Engenho Novo (Mamanguape-PB).

### **Coleta de Amostras da Água**

As coletas de água foram realizadas em quatro pontos (figura 2), sendo três nascentes (Nascente N1 – Bairro do areal; Nascente N2 – Mata da Bica de Sertãozinho e Nascente N3 – Riacho da Pedra) e um no ponto de captação de água (Ponto de Captação - PC - Açude do Jangada) do município. As amostras foram identificadas, acondicionadas em garrafas PET transparentes de 2000 ml e levadas ao Laboratório de Ecologia Química, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB/Rio Tinto).

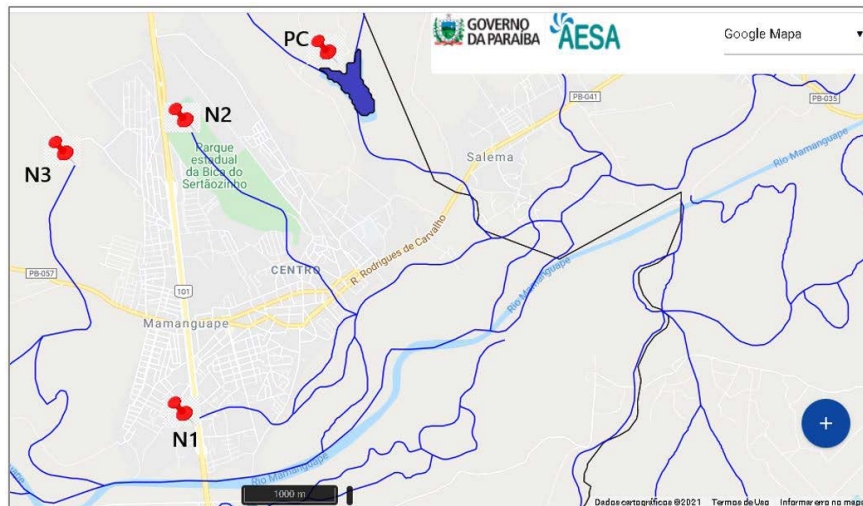
As coletas foram realizadas sempre no período da manhã nos 4 pontos georreferenciados, no período de 7 meses (agosto de 2019 a fevereiro de 2020), com 3 repetições, totalizando 84 unidades amostrais. Foi realizado um acompanhamento do índice de pluviosidade do município, durante o período de coleta das amostras (tabela 1).

**Figura 1 - Mapa de localização do município de Mamanguape – PB.**



Fonte: AESA, 2012; organizado por Pires, 2013.

**Figura 2 - Pontos de coleta realizados no Município de Mamanguape.**



Fonte: AESA 2021; Google Maps, 2021.

As amostras foram identificadas e acondicionadas em caixas Térmicas e preservadas em gelo até a chegada ao Laboratório de Ecologia Química, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB/Rio Tinto).

**Tabela 1 - Precipitação mensal observada na realização das coletas (índice de pluviosidade).**

Data da coleta	Precipitação observada (mm)
Agosto/2019	0,0
Setembro/2019	4,2
Outubro/2019	0,0
Novembro/2019	0,0
Dezembro/2019	0,0
Janeiro/2020	0,0
Fevereiro/2020	2,5

Fonte: AESA, 2019-2020.

As análises físico-químicas seguiram as recomendações do “Métodos Padrão para o Exame de Água e Efluentes” (APHA, 1998). Nas amostras coletadas foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, turbidez, salinidade, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), pH, oxigênio dissolvido (OD), Alcalinidade e Dureza Total. Algumas análises foram realizadas utilizando a sonda multiparâmetro (Aquaread AP-800) e para as análises de dureza e alcalinidades foram realizados segundo Standard Methods (2012) em equipamentos de bancada no laboratório.

## Levantamento de Informações para Diagnóstico Visual

Na análise de cada nascentes foi observado 13 (treze) aspectos de acordo com Dias (1998), Guia de Avaliação da Qualidade das Águas (2004) e Gomes *et al.* (2005). Finalizado o diagnóstico local e tabelada as anotações dos impactos nos pontos de coleta das amostras de água no rio Mamanguape, os parâmetros macroscópicos foram tabulados em padrões para quantificação, através dos somatórios dos pontos obtidos (quadro 1).

**Quadro 1 - Quantificação da análise dos parâmetros macroscópicos.**

<b>Cor da água</b>	(1) Escura	(2) Clara	(3) Transparente
<b>Odor</b>	(1) Cheiro forte	(2) Cheiro fraco	(3) Sem cheiro
<b>Lixo ao redor</b>	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem lixo
<b>Materiais Flutuantes</b>	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem materiais flutuantes
<b>Espumas</b>	(1) Muita	(2) Pouca	(3) Sem espumas
<b>Óleos</b>	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem Óleos
<b>Esgoto</b>	(1) Esgoto doméstico	(2) Fluxo Superficial	(3) Sem esgoto
<b>Vegetação (Preservação)</b>	(1) Alta degradação	(2) Baixa degradação	(3) Preservada
<b>Uso por animais</b>	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
<b>Uso por humanos</b>	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
<b>Proteção do local</b>	(1) Sem proteção	(2) Com proteção (mas com acesso)	(3) Com proteção (Sem acesso)
<b>Proximidade com residência ou estabelecimento</b>	(1) Menos de 50 metros	(2) Entre 50 e 100 metros	(3) Mais de 100 metros
<b>Tipo de área de inserção:</b>	(1) Ausente	(2) Propriedade privada	(3) Parques ou áreas protegidas

**Fonte: Gomes *et al.* 2005.**

Após a coleta de informações e pontuação dos parâmetros, foi realizado o somatório dos dados e distribuídos em uma tabela classificatória (quadro 2), que indica o grau de preservação e a classe em que cada ponto está enquadrada (Gomes *et al.*, 2005, Classificação do Grau de Impacto de Nascentes, 2004, e Guia de Avaliação da Qualidade das Águas, 2004).

**Quadro 2 - Classificação dos pontos quanto ao grau de preservação.**

Classe	Grau de Preservação	Pontuação Final*
<b>A</b>	Ótima	Entre 37 e 39 pontos
<b>B</b>	Boa	Entre 34 e 36 pontos
<b>C</b>	Razoável	Entre 31 e 33 pontos
<b>D</b>	Ruim	Entre 28 e 30 pontos
<b>E</b>	Péssimo	Abaixo de 28 pontos

Fonte: autoria própria.

## Tabulação dos Dados

A pesquisa realizada neste trabalho é considerada uma análise descritiva e os dados coletados foram tratados de forma estritamente quali-quantitativa. Os dados dos parâmetros resultantes das análises foram armazenados em tabelas e gráficos por meio da plataforma Excel 2013 durante os meses de monitoramento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização das Nascentes Quanto aos Parâmetros Macroscópicos Nascente - N1

A água apresentou-se transparente, sem odor, sem espumas e óleos na superfície (figura 3). Foi detectada proximidade com rede de esgoto doméstico, os materiais flutuantes na água provêm do contato com o lixo. Foi encontrada em grande quantidade de lixo flutuante (garrafas, sacolas, pedaços de galhos e de folhas) e acumulado em seu entorno.

Não está inserido em área de preservação. Não apresenta proteção (cerca ou tela). Não há identificação (placas ou faixas) sobre a existência da nascente, proximidade de residências é menos de 50 metros.

#### Nascente - N2

A água apresentou-se coloração transparente, odor fraco, sem espumas e óleos na superfície (figura 4). Não foi detectada presença de esgoto domésticos, mas ocorre interferência antrópica para fins domésticos, como lavagem de roupa e louças. Não apresentou matérias flutuantes, apenas galhos e folhas das arvores em seu entorno. Foi observada a presença de lixo aos arredores.

A vegetação apresenta-se com baixa degradação, apenas com indícios de queimada antes de chegar à nascente. Há evidências de humanos na nascente, mas animais não foram detectados. A proximidade com residências apresentou distancias a mais de 100 metros.

#### Nascente - N3

Não há proximidades com residências ou estabelecimento, a água apresentou-se clara, odor fraco, sem espumas e óleos na superfície (figura 5). Não apresenta rede de



esgoto doméstico próximos a nascente. Não apresentou matéria flutuante, mas a presença de lixo aos arredores como garrafas PET.

Vegetação antropizada, formada por canavial apresentando apenas uma vegetação de bambu ao redor da nascente. Há presença de animais e indícios de presença humana. O local não apresenta nenhum tipo de proteção e não está inserida em área que visa a preservação.

### Ponto de Captação - PC

A água apresentou coloração amarelo claro, odor fraco, não apresentou espumas nem formação de óleos na superfície (figura 6). Não detectada presença de rede de esgoto doméstico. Não foram encontradas matérias flutuantes, mas lixo em seu entorno (Plásticos, roupas, latas, vidro).

A vegetação ao entorno da nascente é constituída por estrato arbóreo, observa-se próximo ao local área de pastagem, há presenças de animais, como gado, além de fezes e pegadas, há lixos aos redores a uso por humanos em lavagens de roupas ou banhos em animais. Não há proteção e proximidade com residências só a mais de 100 metros.

**Figura 3 - Local onde a Nascente N1 aflora em área urbana.**



**Figura 4 - Vertente da Nascente N2 em sertãozinho.**



**Figura 5 - Local onde a Nascente N3 aflora Riacho da pedra.**



**Figura 6 - Ponto de captação do município de Mamanguape.**



Fonte: Autoria própria.

## Classificação dos Cursos D'Água Quanto aos Parâmetros Macroscópicos

Ao monitorar cada nascente e utilizar o quadro da quantificação dos parâmetros



macroscópico (quadro 1), foi realizado o enquadramento em classes referente ao índice de impacto ambiental, a partir do grau de preservação em que se encontram (tabela 3). Nesse quadro é possível observar a frequência em que cada parâmetro ocorreu.

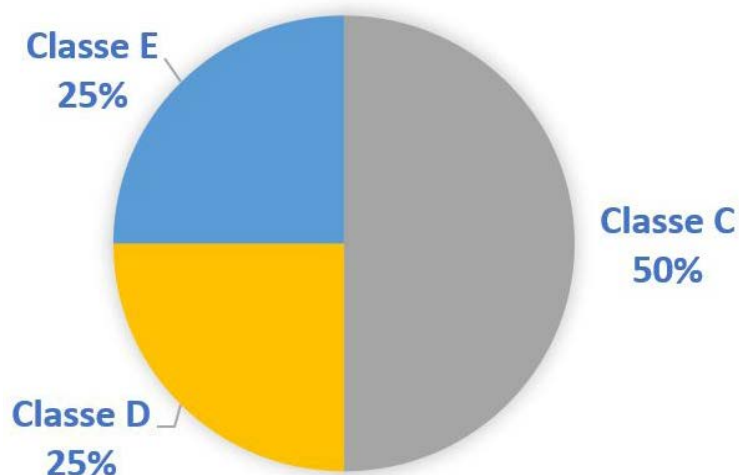
**Tabela 3 - Enquadramento em classes das nascentes e do ponto de captação.**

	N1	N2	N3	PC
Cor da água	2	2	2	2
Odor	2	3	3	2
Lixo ao redor	1	2	3	2
Materiais Flutuantes	1	3	3	2
Espumas	3	3	3	3
Óleos	3	3	3	3
Esgoto	1	3	3	3
Vegetação	1	2	2	3
Uso por animais	1	2	3	1
Uso por humanos	1	1	2	1
Proteção	1	2	2	1
Proximidade com Residências	1	3	3	3
Tipo de área de Inserção	1	3	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>19</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>28</b>
<b>Classificação</b>	<b>E</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>D</b>

Fonte: Autoria própria

Após a quantificação das análises dos parâmetros macroscópicos e a classificação dos pontos quanto ao grau de preservação (quadro 2), foi determinado a quantidade de nascentes por classe encontradas (figura 7). Podemos observar que dos quatros pontos monitorados, dois se encontraram na classe C, considerados como razoável. Um ponto (Nascente 1) classificado como classe E, sendo péssimo, e o ponto de captação na classe D, considerado como ruim.

**Figura 7 - Classificação do grau de preservação das nascentes e do ponto de captação.**



Fonte: Autoria própria

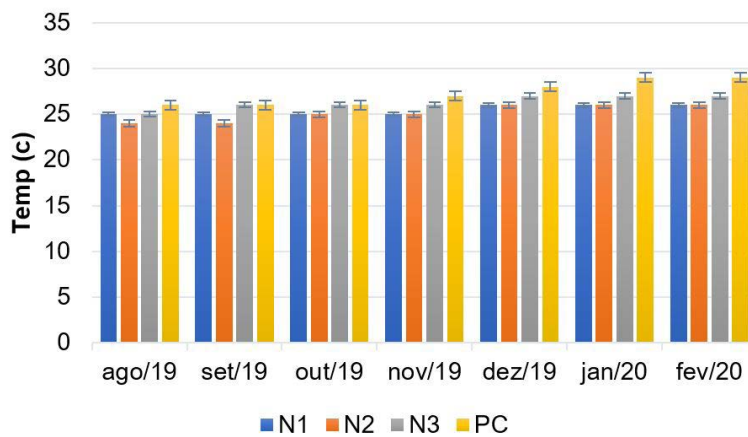
## Parâmetros Físico-Químicos da Água

### Temperatura

Podemos observar que a temperatura se manteve constante em todos os meses monitorados (figura 8), com médias de 24,0 a 29,0° C. Os meses de janeiro e fevereiro de 2020 tiveram uma maior variação, principalmente no ponto de coleta de água (PC), devido a temperatura da estação do ano (verão). Além disso, o fato da pouca vegetação ao entorno do PC em comparação com as nascentes pode ter influência nesses maiores valores de temperatura.

Marmontel *et al.* (2015) apontou valores respectivamente semelhantes para as nascentes, evidenciando por estar localizada em uma área desprotegida da vegetação, ficando bastante expostas à radiação solar, o que conseqüentemente, elevam-se as temperaturas.

**Figura 8 - Médias da temperatura °C dos pontos amostrais.**



Fonte: Autoria própria

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 357 (Brasil, 2005), a temperatura não é utilizada na classificação dos corpos d'água, contudo ela é de total importância para a avaliação da qualidade da água.

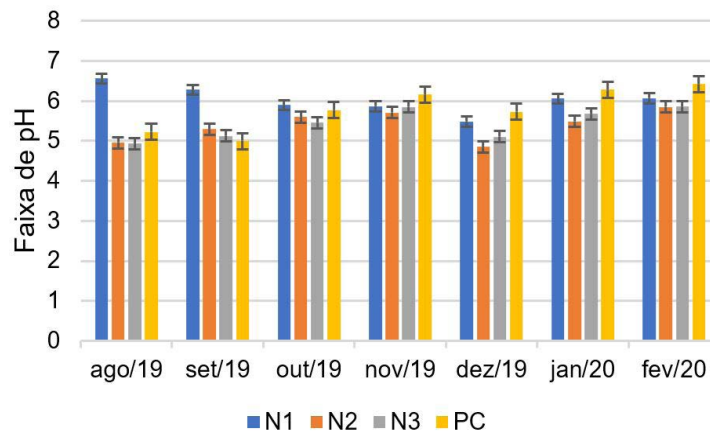
Segundo Sperling (2005) é normal se ter uma variação da temperatura da água na faixa de 0 °C a 30°C, tendo como explicação o regime climático e a estação do ano.

### pH

Os resultados do pH das amostras de água variaram na faixa de 4 a 6, sendo considerados como ácidos (figura 9). Isso pode ser justificado pela decomposição da matéria orgânica encontrada no entorno do local da coleta (Franca *et al.*, 2006).

Em relação aos pontos N1 e o PC, observou-se que em alguns meses da amostragem apresentaram valores acima de 6, ou seja, valor dentro da faixa de pH de 6,0 a 9,0 estabelecido pela resolução do CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005). Resultados semelhantes foram descritos por Daneluz e Tessaro (2015) se enquadrando no padrão de classificação, portanto alterações nos valores de pH ocasionam o aumento de substâncias químicas, como os metais pesados, gerando um ambiente tóxico para os organismos aquáticos (Almeida, 2013).

**Figura 9 - Médias do pH dos pontos amostrais.**

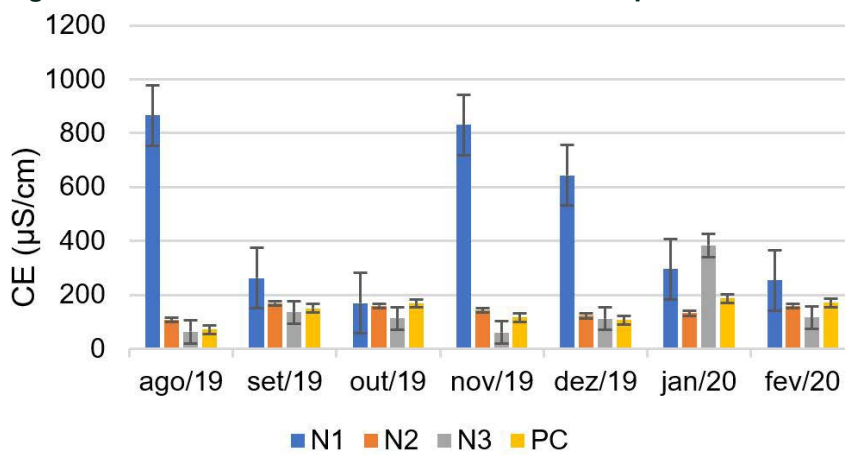


Fonte: autoria própria.

### Condutividade Elétrica

Nas análises de condutividade elétrica (figura 10), os valores foram bastante elevados em alguns pontos, principalmente no ponto N1 que ultrapassaram de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nos meses de agosto, novembro e dezembro de 2019. De acordo com Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (Brasil, 2014), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais, os valores podem chegar a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Figura 10 - Médias da Condutividade Elétrica dos pontos amostrais.**



Fonte: autoria própria.

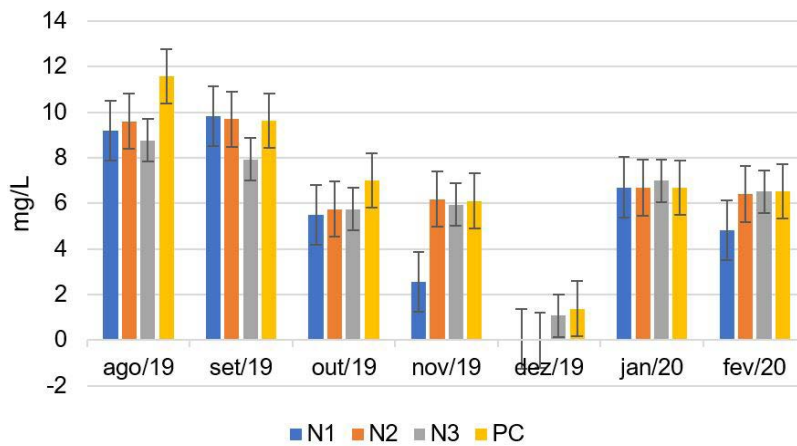
Observa-se um aumento nos valores de CE para os meses de novembro e dezembro. Segundo Löbler *et al.* (2015), nos períodos de estiagem a precipitação influencia, pois não se tem a dissolução dos sais, aumentando assim a concentração da condutividade elétrica.

Segundo Silva Filho *et al.* (2019), a condutividade elétrica depende da quantidade de sais dissolvidos na água e é aproximadamente proporcional à sua quantidade. Sua determinação permite obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos de uma amostra. Oliveira *et al.* (2017) sugere que os altos valores de condutividade estão associados, principalmente, à dureza da água, devido à presença de íons dissolvidos como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , entre outros, e ao grau de decomposição de material orgânico, gerando compostos iônicos dissolvidos.

## Oxigênio Dissolvido

A resolução Conama nº 357/2005 (Brasil, 2005) estabelece um limite mínimo para oxigênio dissolvido (OD) de 6,0 mg/L para rios de classe 1 e o valor de 5,0 mg/L para rios de classe 2. Na maioria dos meses de coleta, as nascentes e o ponto de captação obtiveram valores maiores de 5,0 mg L<sup>-1</sup> de oxigênio dissolvido, exceto no mês de dezembro de 2019 (figura 11). Uma possível causa para o OD apresentar redução no mês de dezembro é que durante a degradação da matéria orgânica as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, diminuindo então sua concentração no meio.

**Figura 11 - Médias de Oxigênio Dissolvido dos pontos amostrais.**



Fonte: autoria própria.

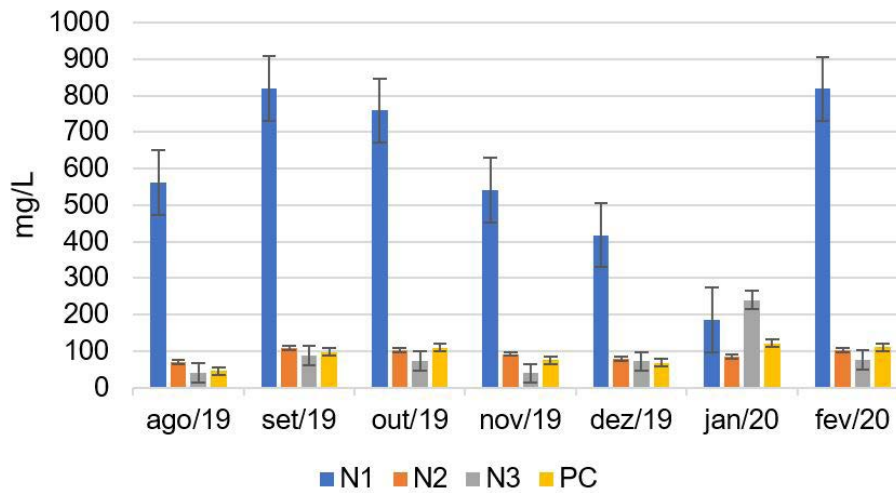
O aumento do oxigênio dissolvido pode ser influenciado por alguns fatores, entres eles, a temperatura. Segundo Lima (2018), a temperatura da água favorece a elevação do teor de oxigênio dissolvido na água, pois quanto maior a temperatura, maior será a produção de fitoplanctons que são responsáveis pela oxigenação da água.

## Sólidos Dissolvidos Totais

O padrão de potabilidade estabelecido pela legislação do CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) impõe um limite de 1000 mg/L de sólidos dissolvidos totais (SDT) na água. De acordo com as análises desse parâmetro (figura 12), os valores em todas as amostras das nascentes e do ponto de captação se enquadraram no limite exigido por lei.

Segundo Araújo *et al.* (2011) quanto maior a condutividade elétrica, maior será a quantidade de sólidos dissolvidos na água, e que pode variar também de acordo com a temperatura e o pH. Podemos observar no gráfico 4 que os maiores valores de CE correlacionam com os maiores valores de SDT no nosso trabalho.

**Figura 12 - Médias dos sólidos dissolvidos totais dos pontos amostrais.**



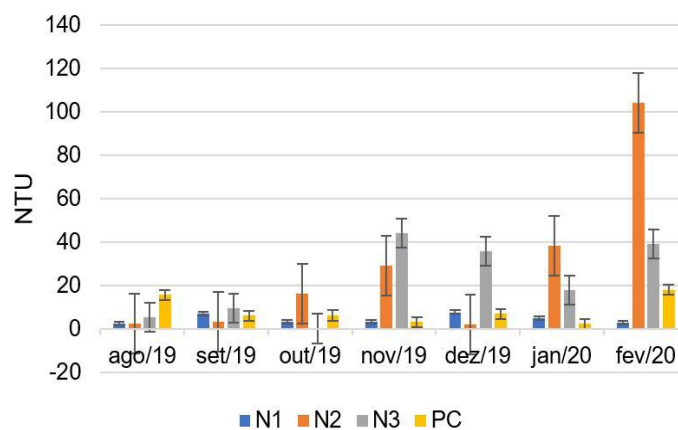
Fonte: autoria própria.

### Turbidez

De acordo com os resultados de turbidez, a maioria dos valores encontraram-se abaixo de 40 NTU (figura 13), exceto para o ponto N2 no mês de fevereiro que ultrapassou o limite de 100 NTU. Os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA/357 (Brasil, 2005) são valores < 40 para água doce classe 1 e valores < 100 para água doce classe 2 (Brasil, 2005).

A turbidez demonstra o grau de interferência com a passagem de luz através da água, atribuindo uma aparência turva à mesma, tendo como constituintes os sólidos em suspensão (Sperling, 2005).

**Figura 13 - Médias de turbidez dos pontos amostrais.**



Fonte: autoria própria.

Souza (2018) verificou valores de 0 NTU para todas as nascentes em suas análises da microbacia do riacho Cravaçu localizado no município de Rio Tinto – PB. Esses valores são bem menores aos encontrados no nosso trabalho, caracterizando as águas das nascentes do riacho Cravaçu como limpas e sem materiais em suspensão.

A maior elevação observada na última coleta, possivelmente pode estar relacionada à presença de sólidos em suspensão (silte, argila, sílica) assim como matéria orgânica e inorgânica finamente divididos.

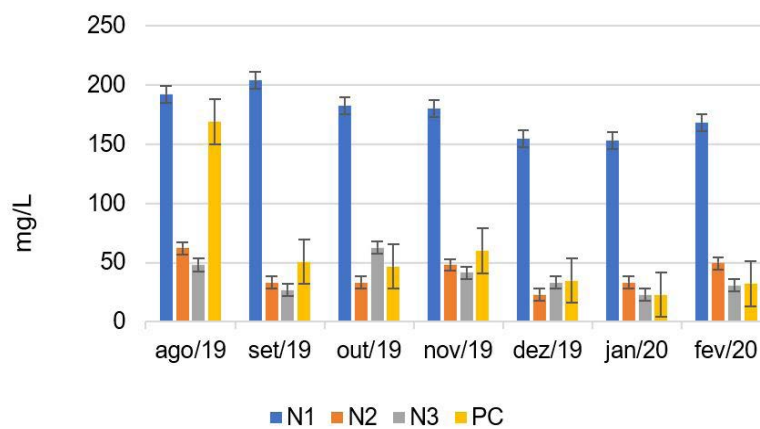


## Dureza

Os valores para dureza variaram de 22,6 a 204 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (figura 14), que são abaixo do estabelecido pela legislação vigente. O valor máximo permitido (VMP) da dureza da água em corpos hídricos para abastecimento público, estabelecido pela tabela do anexo X da portaria do MS no 2.914 de 2011 é de 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Brasil, 2006; Brasil, 2011).

De acordo com classificação das águas quanto ao grau de dureza, a legislação divide em quatro tipos (Brasil, 2006): mole ou branda (0 – 50 mg/L), moderada (51 – 150 mg/L), dura (151 – 300 mg/L) e muito dura (> 300 mg/L). Sendo assim, os pontos amostrais N2, N3 e PC foram classificados como água mole, exceto no mês de agosto de 2019, que o ponto PC apresentou uma alteração. Já o ponto amostral N1 foi classificado como água dura.

**Figura 14 - Médias de dureza da água dos pontos amostrais.**

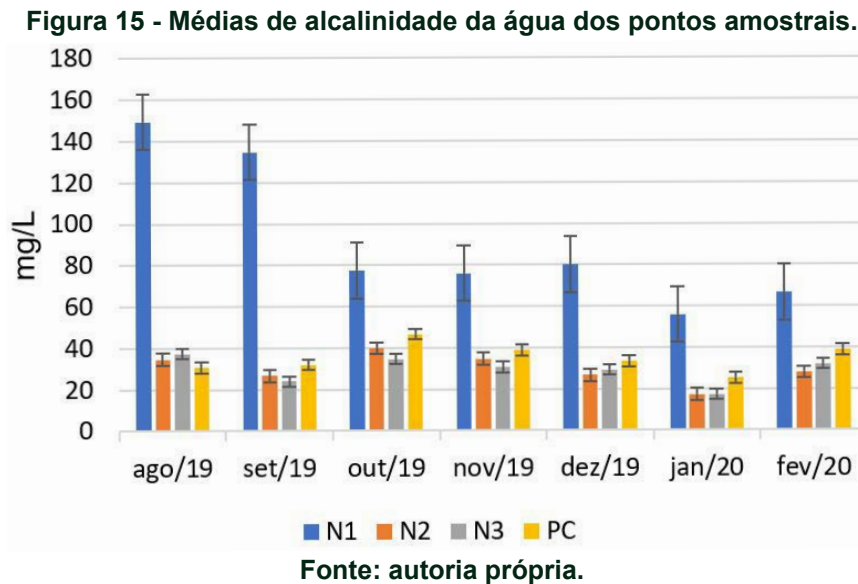


Fonte: autoria própria.

Segundo Oliveira *et al.* (2017), avaliando a qualidade da água do riacho São Caetano (Balsas - MA), observou que um fator indicativo do aumento da incidência de material calcário foi proveniente de ações como assoreamento e erosão, podendo estar relacionado à presença antrópica. Também foi observado em nosso trabalho ações antropogênicas no entorno dos pontos de coleta. Futuramente esses dados podem ser preocupantes, se nenhuma medida de preservação for tomada.

## Alcalinidade

A alcalinidade da água das nascentes variou de 17,33 a 149,33 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (figura 15). A nascente N1 obteve valores maiores em comparação aos demais pontos amostrais. De acordo com (Rocha *et al.*, 2008), valores elevados de alcalinidade em água de nascentes estão diretamente relacionados com as medidas de condutividade elétricas da água.



De um modo geral, a maioria dos valores analisados se enquadraram no intervalo de alcalinidade das águas naturais (entre 30 e 500 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), e indica normalidade nos processos de decomposição da matéria orgânica, assim como na taxa de respiração dos microrganismos (Moraes, 2008). Vale salientar que a resolução nº 357/2005 do CONAMA (Brasil, 2005) não estabelece de limites para a alcalinidade da água.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que dos quatro pontos analisados, apenas dois encontraram-se com qualidade ambiental em estado razoável, e as demais como ruim e péssima, motivo pelo qual se faz necessária a tomada de medidas mitigadoras, como a conscientização da sociedade para a preservação dos corpos hídricos afim de garantir a qualidade da água.

Alguns parâmetros analisados (oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, turbidez, dureza e alcalinidade) apresentaram valores que estão em conformidade com legislações e trabalhos científicos. Entretanto, os parâmetros pH e condutividade elétrica estão em desconformidade com as legislações do CONAMA e da FUNASA.

As alterações analisadas ressaltam modificações na qualidade da água das nascentes no município de Mamanguape. Sendo assim, é importante que haja um cuidado maior com as nascentes e seus arredores, para que não sofram com as atividades antrópicas, que modificam a qualidade deste recurso.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jaqueline Colvara; *et al.* **Avaliação do Índice de Qualidade da Água na lagoa dos Patos.** XXII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas. 2013.

APHA (1998). **Standart methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup> ed. Washington.

ARAÚJO, G. F. R.; TONANI, K. A. A.; JULIÃO, F. C.; CARDOSO, O. O.; ALVES, R. I. S.; RAGAZZI, M. F.; SAMPAIO, C. F.; SEGURA-MUNOZ, S. I. **Qualidade físico-química e microbiológica da água para o consumo humano e a relação com a saúde: estudo em uma comunidade rural no estado de São Paulo**. O Mundo da Saúde, São Paulo: v. 35, n. 1, p. 98-104, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução - n. 357 de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 03 março, 2020

BRASIL. Ministério da Saúde. **Secretaria de Vigilância em Saúde**. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. Disponível em: Acesso em: 27 de maio de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União, nº 239, Gabinete do Ministro, Brasília, DF, 14 de dezembro de 2011. Disponível em: < <http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA%20No- %202.914,%20DE%2012%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>> Acesso em: 27 de maio de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Fundação Nacional de Saúde**. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014. 112 p.

CALHEIROS, R.O.; TABAI, F.C.V.; BOSQUILIA, S.V.; CALAMARI, M. 2009. **Preservação e recuperação de nascentes**. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios PCJ- CTRN, XII, p.37. Piracicaba.

DANELUZ, Débora; TESSARO, Dinéia. **Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná**. Arquivos do Instituto Biológico, v. 82, 2015.

QUEIROZ, Manoel Moisés Ferreira de *et al.* **Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural**. Revista Verde de Agroecologia e desenvolvimento sustentável, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.

DIAS, G.F.1998. **Educação Ambiental: princípios e práticas**. Editora Gaia, São Paulo. 5ª edição. 400.

DONADIO, Nicole MM; GALBIATTI, João A.; PAULA, Rinaldo C. de. **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil**. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005.

FRANCA, Raimunda Moreira da, *et al.* Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. Engenharia sanitária e ambiental, v. 11, n. 1, p. 92-102, 2006.

GOMES, Priscila Moreira; DE MELO, Celine; DO VALE, Vagner Santiago. **Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica**. Sociedade & Natureza, v. 17, n. 32, 2005.

Guia de avaliação de qualidade das águas. 2004. In: [http://www.rededasaguas.org.br/observando/guia\\_de\\_avaliacao\\_de\\_qual\\_agua.doc](http://www.rededasaguas.org.br/observando/guia_de_avaliacao_de_qual_agua.doc).

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2018. População residente estimada (2018/2019). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/mamanguape/panorama>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2019.

LIMA, Thainá Dal Fabbro Costa. **Bacia hidrográfica córrego do ferreirinha: análise do índice de qualidade da água.** Intertem@s ArqEng, v. 1, n. 1, 2018.

LÖBLER, Carlos Alberto; DE BORBA, Willian Fernando; DA SILVA, José Luiz Silvério. **Relação entre a pluviometria e a condutividade elétrica em Zona de Afloramento do sistema Aquífero Guarani.** Ciência e Natura, v. 37, n. 3, p. 115-121, 2015.

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. **Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar.** Floresta e Ambiente, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015.

MORAES, P. B. ST 502 – Tratamento Biológico de Efluentes Líquidos, ST 503 – **Tratamento físico-químico de efluentes líquidos.** Campinas, 2008. Disponível em: < [http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-293205/apoio/2/Resumo\\_caracteriza\\_o\\_de\\_efluentes\\_continua\\_o.pdf](http://webensino.unicamp.br/disciplinas/ST502-293205/apoio/2/Resumo_caracteriza_o_de_efluentes_continua_o.pdf)>. Acesso dia 27 de maio 2021.

OLIVEIRA, Regina Maria Mendes; SANTOS, Ezequiel Vieira dos; LIMA, Kalyl Chaves. **Avaliação da qualidade da água do riacho São Caetano, de Balsas (MA), com base em parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, n. 3, p. 523-529, 2017.

PINTO, Lilian Vilela Andrade; ROMA, Talita Nazareth de; BALIEIRO, Kátia Regina de Carvalho. **Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno.** Cerne, v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012.

ROCHA, Ana Lídia Alves Rocha; PARRON, Lucilia Maria; DA CRUZ, Carlos José Domingos. **Monitoramento da qualidade de água de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Preto, sub bacia do médio rio São Francisco.** Embrapa Cerrados, 2008.

RODRIGUES, V.A. **Recuperação de nascentes em microbacias da cuesta de Botucatu.** In: Rodrigues V.A, Bucci L.A., organizadores. Manejo de microbacias hidrográficas: experiências nacionais e internacionais. Botucatu: FEPAF; 2006.

SILVA FILHO, E. D. *et al.* **Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas,** 2019. Disponível em: < <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/29278/19081/109013>>. Acesso em maio/2021.

SILVA, Fábio Ramos. **O saneamento básico e seus reflexos na saúde pública para a população urbana de Buritis-MG.** 2019.

SOARES, Karla Muriel da Costa. **Estudo da nascente água santa em Rio Verde – GO para proposta de sua recuperação.** 2011. Dissertação (Engenharia Ambiental) Universidade de Rio verde Faculdade de Engenharia Ambiental, Goiás, 2011.

SOUZA, Yara Iris França de. **Avaliação qualitativa das nascentes e identificação de impactos ambientais na microbacia do Riacho Cravaçu.** 2018. Universidade Federal da Paraíba - Rio tinto, 2018.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3a Edição. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2005.

## Avaliação da água do rio Cuité, Paraíba, Brasil

### *Water assessment of the Cuité river, Paraíba, Brazil*

**Victória Maria de Oliveira Santos**

*Graduada em Bacharelado em Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, Av. Santa Elizabeth, s/n Centro Rio Tinto – PB CEP: 58297-00*

**Évio Eduardo Chaves de Melo**

*Professor do Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Av. Santa Elizabeth, s/n Centro Rio Tinto – PB CEP: 58297-00*

### RESUMO

A água é um elemento imprescindível e insubstituível para a vida, e a qualidade da água disponível merece destaque especial para a preservação desse bem. Desta forma, foi realizada uma pesquisa que tem como área de estudo o Rio Cuité, que se localiza no município de Cuité de Mamanguape - PB. Tem como objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos da água e fazer um levantamento macroscópico do local. Para este estudo foram selecionados 4 pontos de coletas, localizados em perímetros urbanos e rurais, identificando visualmente as principais características do ambiente. De acordo com o diagnóstico visual ambiental e os resultados dos parâmetros físico-químicos em laboratório foram constatados a interferência antrópica na área, causando alterações em alguns parâmetros físico-químicos (oxigênio dissolvido e sólidos dissolvidos totais) e impactos ao meio ambiente local. Esta pesquisa evidencia os impactos causados pelo uso e descaso com o rio Cuité e a necessidade de monitoramento do corpo hídrico.

**Palavras-chave:** diagnóstico ambiental; qualidade da água; recursos hídricos.

### ABSTRACT

Water is an essential and irreplaceable element for life, and the quality of the available water deserves special attention for the preservation of this asset. In this way, research was carried out that has as its study area the Cuité River, which is in the municipality of Cuité de Mamanguape - PB. It aims to evaluate the physicochemical parameters of the water and make a macroscopic survey of the site. For this study, 4 collection points were selected, located in urban and rural perimeters, visually identifying the main characteristics of the environment. According to the visual environmental diagnosis and the results of the physicochemical parameters in the labo-





ratory, anthropic interference in the area was verified, causing changes in some physico-chemical parameters (dissolved oxygen and total dissolved solids) and impacts on the local environment. This research highlights the impacts caused by the use and neglect of the river and the need to monitor the water body.

**Keywords:** environmental diagnosis; water quality; water resources.

## INTRODUÇÃO

A água é um elemento indispensável para toda e qualquer forma de vida presente na Terra, ou seja, é o que se pode chamar de essencialidade, por ser um elemento imprescindível e insubstituível (Machado *et al.*, 2012). A água utilizada pela sociedade humana tem a função de atender suas necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. Porém, essa diversificação no uso da água, quando realizada de forma inadequada, provoca alterações na sua qualidade, comprometendo os recursos hídricos e, conseqüentemente, seus usos para os diversos fins (Souza *et al.*, 2014). Atualmente, a disponibilidade de água doce potável é um dos principais problemas enfrentados pelo homem, podendo afetar diretamente a saúde da população e originar problemas sociais de grande risco (Vialle *et al.*, 2011).

A qualidade da água é uma condição obrigatória, quando se trata dos seus principais usos, em especial, para fins como o consumo humano. Este uso tem sofrido restrições significativas em função de prejuízos nos rios provenientes das ações naturais e, principalmente, das atividades realizadas pelo homem, as quais alteram os aspectos de qualidade e quantidade de água à disposição para o consumo humano (Von Sperling, 2007). Dentre os vários motivos que danificam diretamente a qualidade da água disponível merece especial destaque o crescimento populacional, a urbanização, o uso e ocupação do solo e as fontes de emissão de poluentes (Vialle *et al.*, 2011).

Ma *et al.* (2010) afirmam que, além de afetar diretamente a saúde humana, águas contaminadas causam sérios danos à biodiversidade aquática. A alteração das águas naturais como consequência das atividades humanas é um dos principais problemas ambientais atualmente, em razão do lançamento simultâneo de compostos orgânicos e substâncias químicas tóxicas em corpos hídricos, que provocam a deterioração radical da qualidade da água.

A água apresenta como propriedade um alto poder de dissolução, diferenciando-se pelas características do solo da bacia hidrográfica, e também age como meio de transporte, em escoamento superficial e subterrâneo, proporcionando que os aspectos de um mesmo curso de água alterem-se temporal e espacialmente (Libanio, 2016).

O monitoramento da qualidade da água permite a caracterização e a análise nas bacias hidrográficas, através dos parâmetros físico-químicos e biológicos de amostras de água colhidas nos rios e reservatórios, que são utilizados como indicadores da qualidade da água (ANA, 2017). No Brasil, os níveis e concentrações desses indicadores na água são usados como referência para o enquadramento dos corpos hídricos segundo classes de qualidade de água estabelecidos na Lei das Águas nº 9.433/97 (Brasil, 1997).

Diante da relevância do assunto, considera-se imprescindível o diagnóstico ambiental de uma bacia hidrográfica, por meio da caracterização da qualidade da água, que é uma das principais etapas desse estudo. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água do rio Cuité, do município de Cuité de Mamanguape – PB, através de análises físico-químicos e de diagnóstico visual ambiental, norteados pelos padrões de referências da resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

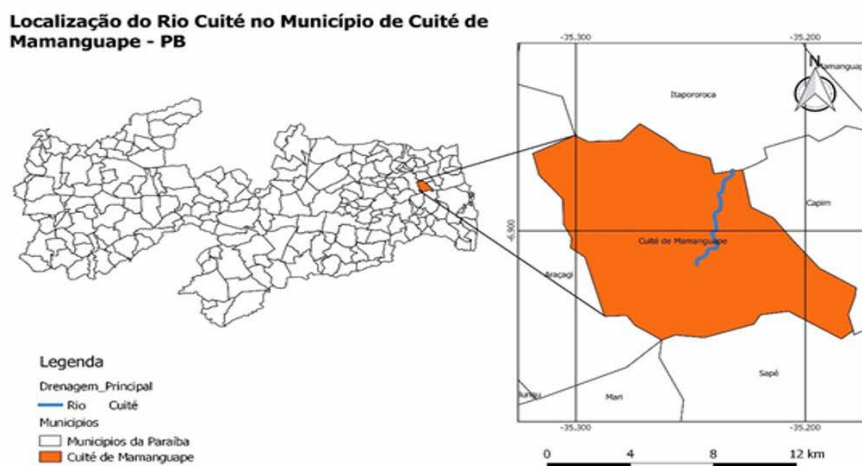
O município de Cuité de Mamanguape está localizado no Litoral Norte do estado da Paraíba, numa distância de 70 km de João Pessoa (Figura 1). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2020, sua população foi estimada em 6.356 habitantes, com área territorial de 107 km<sup>2</sup>. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da cidade é de 0.524. A água que abastece a cidade é fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), tem origem no açude Alagamar, situada na Usina Miriri, zona rural de Santa Rita - PB.

O rio Cuité nasce no sítio Pelo Sinal, no próprio município de Cuité de Mamanguape e desagua no rio Mamanguape, na divisa com a cidade de Itapororoca – PB, com cerca de 10 km de extensão. Este rio é utilizado pela população local para atividades econômicas, tais como a agricultura e a pecuária.

### Coleta de Amostras

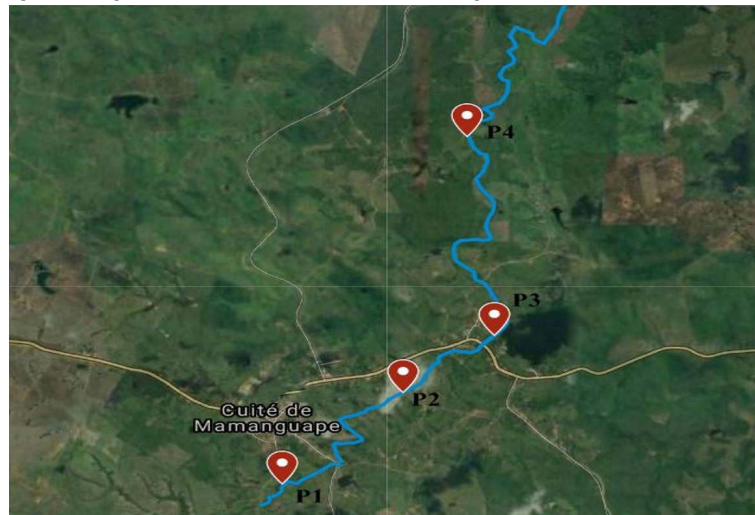
As coletas foram realizadas sempre no período da manhã e no mesmo ponto Georreferenciado. Foram realizadas as coletas de amostras de água e o levantamento de informações para o diagnóstico visual em 4 pontos, sendo os pontos localizados em perímetros urbanos e rurais do município, sendo ponto 1 - Sítio Nico; ponto 2 - Sítio Doles; ponto 3 - Cuité de Baixo e o ponto 4 - Fazenda Cuité/ Sitio Capuaba (Figura 2).

**Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, Cuité de Mamanguape, Paraíba.**



Fonte: GEOPortal AESA (2018), confecção; Victória Maria de Oliveira.

**Figura 2 - Mapa dos pontos de coletas no município de Cuité de Mamanguape – PB.**



Fonte: Google Maps.

A coleta foi realizada a cada 3 meses (maio, agosto, novembro de 2019 e fevereiro de 2020), com três repetições, totalizando 48 unidades amostrais. Coletando sempre 500 mL da amostra em frasco para análise *in loco* e outro frasco de 2 litros para análise em laboratório, previamente preparados.

### Levantamento de Informações para Diagnostico Visual

Nas análises macroscópicas de cada ponto de coleta foram avaliados 13 (treze) aspectos, de acordo com Dias (1998), Guia de Avaliação da Qualidade das águas (2004) e Gomes *et al.* (2005). Após levantamento do diagnóstico visual e tabulação dos dados avaliados nos pontos de coleta no rio Cuité, eles foram quantificados e somados de acordo com o quadro abaixo.

**Quadro 1 - Quantificação da análise dos parâmetros macroscópicos.**

<b>Cor da água</b>	(1) Escura	(2) Clara	(3) Transparente
<b>Odor</b>	(1) Cheiro forte	(2) Cheiro fraco	(3) Sem cheiro
<b>Lixo ao redor</b>	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem lixo
<b>Materiais flutuantes</b>	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem materiais flutuantes
<b>Espumas</b>	(1) Muita	(2) Pouca	(3) Sem espumas
<b>Óleos</b>	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem óleos
<b>Esgoto</b>	(1) Esgoto doméstico	(2) Fluxo superficial	(3) Sem esgoto
<b>Vegetação (preservação)</b>	(1) Alta degradação	(2) Baixa degradação	(3) Preservada
<b>Uso por animais</b>	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
<b>Uso por humanos</b>	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detectado
<b>Proteção local</b>	(1) Sem proteção	(2) Com proteção (mas com acesso)	(3) Com proteção (mas sem acesso)
<b>Proximidade com estabelecimento</b>	(1) Menos de 50 metros	(2) Entre 50 e 100 metros	(3) Mais de 100 metros
<b>Tipo de área de inserção</b>	(1) Ausente	(2) Propriedade privada	(3) Parques ou áreas protegidas

Fonte: autoria própria

Depois da realização do somatório, os dados foram distribuídos em uma tabela classificatória (quadro 2), que indica o grau de preservação e a classe em que cada ponto está enquadrada (Gomes *et al.*, 2005, Classificação do Grau de Impacto de Nascentes, 2004, e Guia de Avaliação da Qualidade das Águas, 2004).

**Quadro 2 - Classificação dos pontos ao grau de preservação.**

Classe	Grau de Preservação	Somatório dos pontos
A	Ótima	Entre 37 e 39 pontos
B	Boa	Entre 34 e 36 pontos
C	Razoável	Entre 31 e 33 pontos
D	Ruim	Entre 28 e 30 pontos
E	Péssimo	Abaixo de 28 pontos

Fonte: autoria própria

## Análise Físico-Química

As amostras de água foram identificadas e acondicionadas em caixas térmicas e preservadas em gelo até a chegada ao Laboratório de Ecologia Química, na Universidade Federal da Paraíba (UFPB/Rio Tinto). As análises físico-químicas seguiram as recomendações do “Métodos Padrão para o Exame de Água e Efluentes” (APHA, 1998). Nas amostras coletadas foram analisados: pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), sólido dissolvido total (SDT), salinidade, turbidez, dureza, alcalinidade.

Para executar a análise físico-química das amostras, utilizou-se a sonda multiparâmetro (Aquaread AP-800) e os aparelhos de bancada: phmetro, condutímetro, turbidímetro e refratômetro. As análises de Dureza e Alcalinidades foram realizadas segundo Standard Methods (2012).

## Tabulação dos Dados

A tabulação dos dados é a disposição dos mesmos em tabelas, possibilitando uma melhor compreensão das inter-relações entre eles (Marconi e Lakatos, 2003). É uma parte do processo técnico de análise que permite resumir os dados que foram analisados, podendo ser feita uma representação gráfica.

Os dados utilizados para a construção das tabelas e gráficos foram as médias retiradas das três repetições das amostras de água por cada mês de coleta.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Diagnostico Visual

Os processos de urbanização e agricultura trazem efeitos indesejados aos corpos hídricos e as áreas circunvizinhas. A contaminação é um dos grandes problemas encontrados atualmente, principalmente o despejo de efluentes. O desmatamento também contribui para a alteração dos parâmetros físico-químicos da água.

Através do levantamento visual dos usos da água, foi identificado o barramento do curso da água (acumulação), captação superficial (irrigação), ponto de lançamento de efluentes domésticos e uso para dessedentação de animais (Quadro 3). Já com o levantamento visual do entorno do curso da água, foi observado a cobertura vegetal arbórea (mata nativa), áreas de campo (pastagem), áreas de agricultura e áreas alteradas (zonas urbanas, estradas e plantação de cana-de-açúcar e banana).

**Quadro 3 - Quantificação das análises dos parâmetros macroscópicos para avaliação dos impactos ambientais nos pontos de coleta do rio Cuité no município de Cuité de Mamanguape – PB.**

Aspectos / Ponto de Coleta	1	2	3	4	Somatório
Cor da água	2	2	2	2	8
Odor	2	2	2	2	8
Lixo ao redor	2	2	2	3	9
Materiais Flutuantes	3	3	3	3	12
Espumas	3	3	3	3	12
Óleos	3	3	2	3	11
Esgoto	3	3	3	3	12
Vegetação	2	2	1	1	6
Uso por animais	2	3	1	1	7
Uso por humanos	2	1	1	1	5
Proteção do local	1	1	2	2	6
Proximidade com estabelecimentos	3	3	1	3	10
Área de inserção	1	1	2	2	6
<b>TOTAL</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>29</b>	
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>D</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>D</b>	

Fonte: autoria própria.

No gráfico 1 é possível observar que, dos quatro pontos de coletas de água, três pontos (1, 2 e 4) apresentaram grau de preservação ruins (classe D), e o ponto 3 apresentou grau de preservação péssima (classe E). O ponto 3 apresenta maiores interferências antrópicas quando comparados aos outros locais estudados.

**Gráfico 1 - Número de pontos de coleta em cada classe de grau de preservação.**



Fonte: autoria própria.

O resultado das observações mostra que não existe preservação da vegetação ao longo do rio Cuité, e que todos os pontos sofrem com a interferência antrópica, já que



a população faz o uso inadequado da área circunvizinha ao rio com criações de animais e intensa monocultura.

## Avaliação Macroscópica dos Pontos Amostrais

A avaliação macroscópica do ambiente consiste na análise visual das características presentes no ecossistema, que abrange não apenas os aspectos naturais, mas também a identificação das interferências causadas pela ação do homem. Essas ações são avaliadas e quantificadas, cujos resultados obtidos definem o grau de conservação do meio.

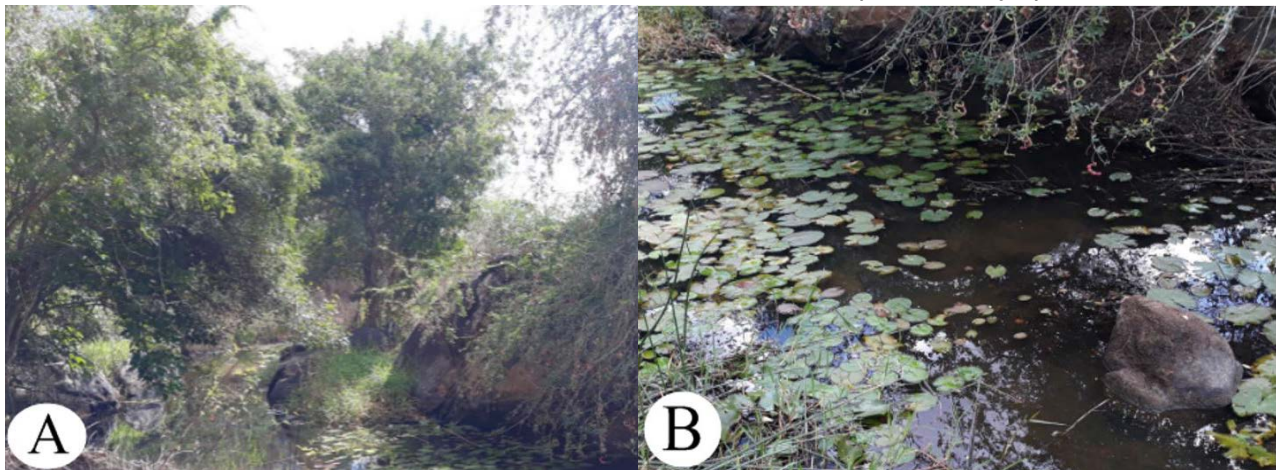
### PONTO 1 - Sítio Nico

O ponto 1 foi o mais próximo da nascente. Inicialmente observou-se que a mata ciliar sofreu perturbações em alguns locais e que não está com a composição vegetal completa (figura 3). Observamos também que próximo ao ponto 1, houve desmatamento para o plantio da monocultura de cana-de-açúcar. A água apresentou coloração clara, cheiro fraco, sem presença de espumas e óleos. Também não houve presença de materiais flutuantes e esgoto. Foi observado pouco lixo às margens do rio (plástico) e marcas de animais.

**Figura 3 - Sítio Nico, Cuité de Mamanguape.**

A - Mata ciliar

B - Espécies de *Nymphoides*



Fonte: Autora.

O local é de fácil acesso, sem qualquer tipo de proteção e fica a mais de 100 metros das residências. Nas fotos A e B podemos observar as rochas que compõem as margens do rio e algumas espécies de *Nymphoides*.

### PONTO 2 - Sítio Doles

No ponto 2 observamos a ocorrência de desmatamento no local para plantação de capim (figura 4). Também existe uma estrada que passa por dentro do rio, que por muitas vezes no período da seca é realizado o aterramento e colocação de pedras nesse local. A água apresentou tonalidade clara, com cheiro fraco, foram encontrados pouco lixo no local (plástico). Não foram detectadas matérias flutuantes, espumas, óleos e despejo de esgoto. Também não foram encontradas presenças ou marcas de animais. A área é de fácil acesso e fica a mais de 100 metros das residências.

**Figura 4 - Sítio Doles. Plantação de Capim as margens do rio; B- Estrada que passa por dentro do rio.**



Fonte: autoria própria

### PONTO 3 - Cuité de Baixo

O ponto 3 é o de maior perturbação, com casas e uma ponte a menos de 50 metros do ponto de coleta (figura 5). Também é um local de criação de aves e caprinos, além de conter uma pequena plantação de banana e ao lado um corredor para dessedentação, podendo causar compactação do solo com o pisoteio dos animais impedindo o desenvolvimento da vegetação.

**Figura 5 - Cuité de Baixo, Cuité de Mamanguape. A - Barreiras com sacos de areia; B - Criação de caprinos e aves.**



Fonte: autoria própria

Nesse trecho do rio também é retirada água para irrigação do bananal. Foram encontrados sacos com areia dentro do rio para formação de uma microbarragem. Neste local, a água tinha coloração clara, cheiro fraco, com presença de pouco óleo e pouco lixo (plástico). Não foram detectadas espumas, materiais flutuantes ou despejo de esgoto. O local é de fácil acesso, apesar de estar inserido em uma propriedade privada.

### PONTO 4 – Fazenda Cuité/Sítio Capuaba

No ponto 4 foi observada uma grande área que foi desmatada para o plantio de monocultura de cana-de-açúcar, utilizando-se da técnica da queimada que provoca desequilíbrio do ecossistema e a degradação ambiental (figura 6). Na outra margem do rio, podemos verificar o desmatamento de grande parte daquela área para a pecuária.

Neste ponto, a água tinha cor clara, com cheiro fraco. Ausentes lixo, materiais flutuantes, espumas, óleos ou despejo de esgoto. O local se situa em uma propriedade



privada, com proteção, mas com fácil acesso, a mais de 100 metros de residências.

**Figura 6 - Fazenda Cuité/ Sitio Capuaba, Cuité de Mamanguape. A- Desmatamento da área para plantação; B- Criação de bovinos**



Fonte : autoria própria

## Avaliação Físico-Química das Amostras

### Alcalinidade

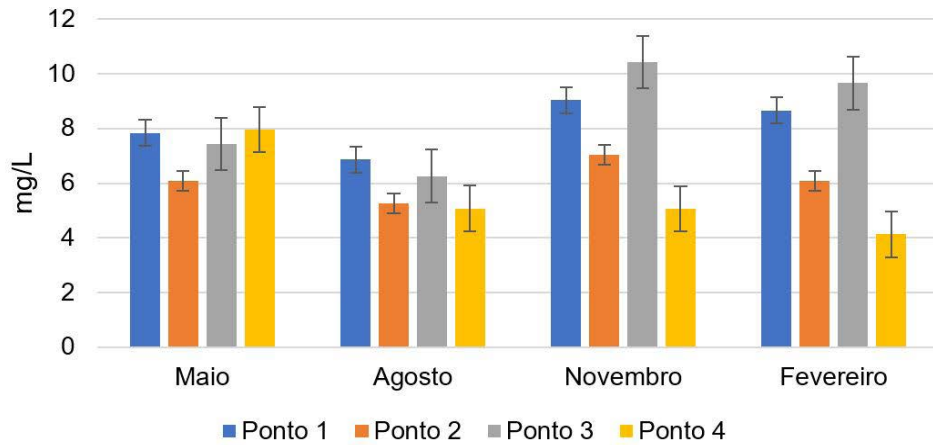
Nas águas naturais, a alcalinidade é responsável por neutralizar os ácidos. No presente estudo, a alcalinidade em relação a hidróxido e a carbonato foram zero para todas as amostras. De acordo com Libânio (2016), em águas naturais superficiais, a alcalinidade se dá, principalmente, apenas por bicarbonatos, em especial, cálcio e magnésio.

Os valores de alcalinidade de bicarbonato variaram em alguns pontos de coleta (gráfico 2). Sendo o ponto 3 o de maior valor, no mês de novembro/19, com 10,43 mg/L e o menor no ponto 4 no mês de fevereiro/20, com 4,13 mg/L. Os níveis se mantiveram semelhantes durante todo o estudo, mesmo nos períodos chuvosos e de estiagem, mostrando que a sazonalidade não teve uma influência significativa.

Para este parâmetro, não existe valor de referência utilizado na Resolução do CONAMA 357/05 (Brasil, 2005). Entretanto, o Ministério da Saúde através da Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 (Brasil, 2011) estabelece, para água de consumo humano e potabilidade, um valor máximo permitido (VMP) de 250 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  para alcalinidade de bicarbonato, 0,0 ml/L de  $\text{CaCO}_3$  para alcalinidade de hidróxido (OH) e alcalinidade de carbonato <120 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

Fernandes *et al.* (2012), no seu trabalho sobre a influência do uso do solo na qualidade da água na microbacia Palmital, Macaé - RJ, observaram níveis de alcalinidade que ficaram entre 18,00 e 30,00 mg/L.

**Gráfico 2 - Valores médios de alcalinidade de bicarbonato (mg/L de CaCO<sub>3</sub>).**



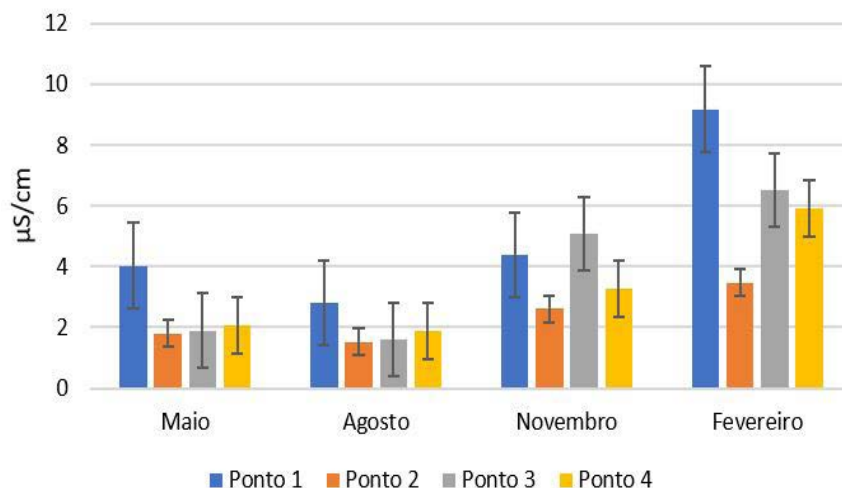
Fonte: Autoria própria.

### Condutividade Elétrica

Observando o gráfico 3, podemos notar que todos os resultados foram abaixo de 10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Para este parâmetro, não existe valor de referência utilizado na Resolução do CONAMA 357/05 (Brasil, 2005), mas de acordo com Von Sperling (2007), as águas naturais apresentam teores de condutividade em níveis de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , e em locais que são poluídos por esgoto doméstico e/ou industriais, esses valores podem superar 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Drever (1988) relata que as características geoquímicas da bacia hidrográfica e/ou manejo do solo no seu entorno fazem com que os níveis de condutividade elétrica sejam significativamente altos.

Segundo Franco e Hernandez (2009), a condutividade elétrica junto com a salinidade, aponta que a quantidade de sais dissolvidos que existem na água, está diretamente relacionada com a habilidade de conduzir correntes elétricas.

**Gráfico 3 - Valores médios de condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).**

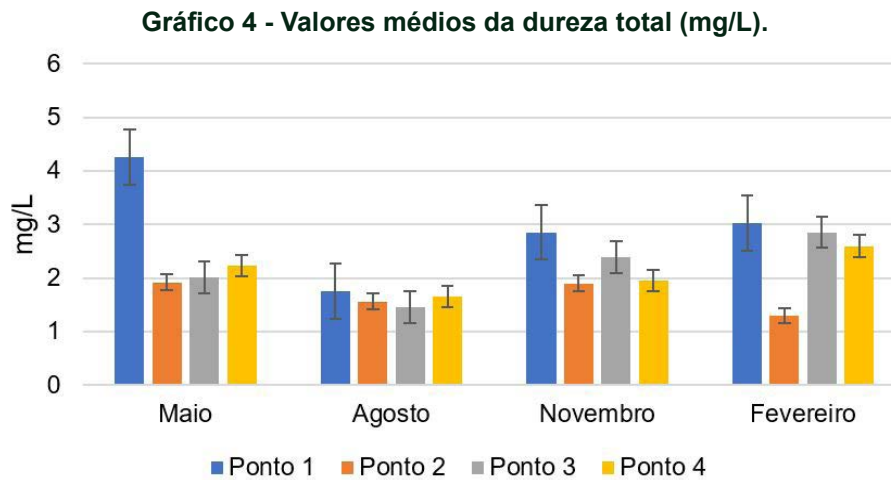


Fonte: Autoria própria.

Em um estudo realizado por Krolow *et al.* (2018), nos poços tubulares na região central do Rio Grande do Sul, foram apresentados valores entre 1,56 e 385,94  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Números muito abaixo do encontrado no presente estudo.

## Dureza Total

Os níveis de dureza total encontrados no corpo hídrico do rio ficaram em níveis entre 4,26 e 1,30 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (gráfico 4), caracterizando a água como levemente dura e moderadamente dura. Podemos notar que o maior nível foi de 4,26 mg/L no ponto 1 do mês de maio/2019, no início das coletas.



Fonte: Autoria própria.

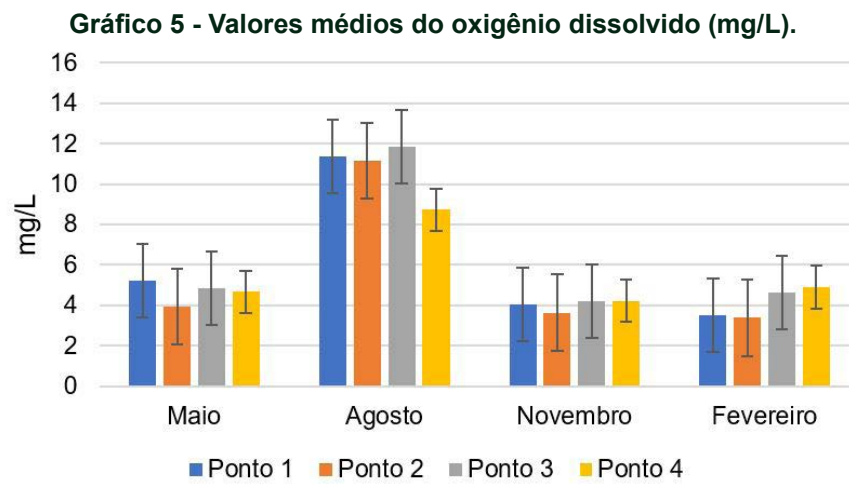
Segundo a UNEP (2008), a dureza total é influenciada pela geologia da bacia de drenagem e por ações antrópicas. As principais fontes de dureza são a solução de minerais contendo cálcio e magnésio, exemplificando, as rochas calcárias (Von Sperling, 2007).

Siqueira *et al.* (2012) em sua pesquisa realizada no rio Parauapebas - Pará, encontraram níveis de dureza total entre 46,00 e 72,00 (ppm), ou seja, as águas do rio foram consideradas levemente duras e moderadamente duras.

## Oxigênio Dissolvido Total

Os valores do oxigênio dissolvido (OD) variaram significativamente, ficando entre 3,38 e 11,38 mg/L (gráfico 5). Foi observado que o mês de agosto apresentou os maiores níveis de oxigênio dissolvido por mg/L. Segundo a Resolução do CONAMA nº. 357/2005 (Brasil, 2005) para águas de Classes II, as águas para a perpetuação da vida em ambientes aquáticos devem apresentar 5,0 mg/L, podendo variar o limite permitido pela legislação conforme o uso da água.





Fonte: Autoria própria.

Na maior parte do período de estudo, os índices do oxigênio dissolvido permaneceram abaixo do valor mínimo estabelecido por legislação. Baldisserotto (2002) relata que a situação é estressante para a maioria dos peixes quando os níveis de oxigênio ficam abaixo de 2 mg/L, associando isso a hipoxia no ambiente.

Coradi *et al.* (2009), observaram também baixos níveis de oxigênio dissolvido entre 5,8 e 8,8 mg/L em águas superficiais dos cursos de água do município de Pelotas – RS.

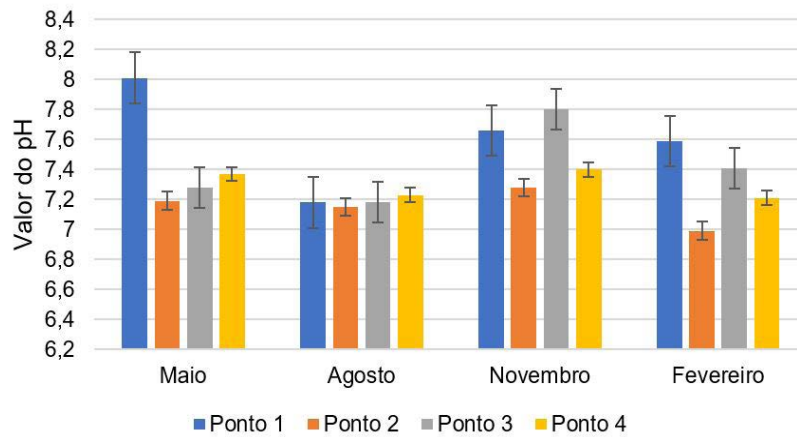
## PH

Seguindo a resolução do CONAMA 357/05 para rios de classe II, o pH ideal está com níveis entre 6 e 9. Como observado no gráfico 6, o pH em todos os pontos amostrais no período da pesquisa permaneceram dentro dos padrões da resolução. Os valores variaram entre 6,99 e 8,1, não ocorrendo variações significativas com relação aos pontos de coletas e aos meses do ano.

Embora, o pH não seja o único parâmetro a ser levado em consideração numa avaliação da qualidade dos ecossistemas aquáticos, é uma variável importante e de difícil interpretação pela quantidade de fatores que podem afetá-lo.

Segundo Coradi *et al.* (2009), geralmente corpos de água não poluídos demonstram valores de pH próximo a neutralidade. Miranda *et al.* (2016) encontraram valores próximos ao nosso trabalho na Ilha de Mosqueiro-PA, ou seja, valores também dentro dos padrões da resolução.

**Gráfico 6 - Valores médios do pH.**



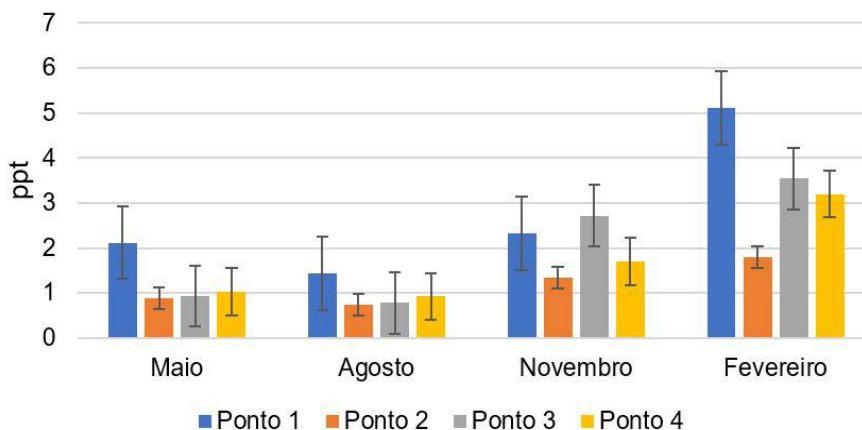
Fonte: Autoria própria.

## Salinidade

Os níveis de salinidade no período do estudo mantiveram-se entre 0,74 e 5,12 ppt (gráfico 7). Corpos hídricos com valores superiores a 0,5 ppt e menores que 30 ppt, sendo a resolução do CONAMA 357/05 (Brasil,2005), são caracterizados como águas salobras. Podendo assim ser destinadas por exemplo a recreação de contato primário.

Níveis altos de salinidade podem ser prejudiciais, tanto para o desenvolvimento das culturas, reduzindo a disponibilidade de água para as plantas, como pela obstrução nos sistemas de irrigação (Dias *et al.*, 2016). Pires e Oliveira (2017) encontraram níveis de salinidade entre 0,9 e 10,3 ppt na pesquisa realizada nas lagoas de Jacarepaguá e Camorim, no município do Rio de Janeiro - RJ.

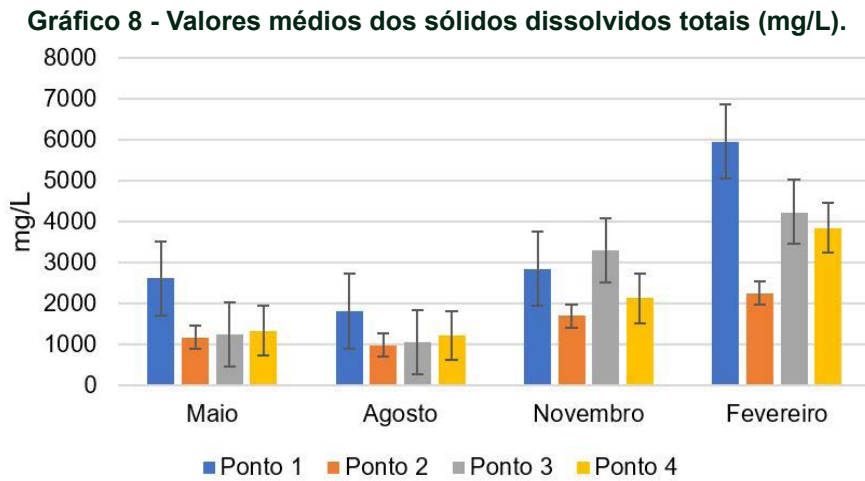
**Gráfico 7 - Valores médios de salinidade (ppt).**



Fonte: Autoria própria.

## Sólidos Dissolvidos Totais

Os valores de sólidos dissolvidos totais encontrados ao longo do rio (gráfico 8) estão acima de 1000 mg/L. O maior valor encontrado foi no ponto 1 no mês de fevereiro/2020 com 5.960 mg/L.



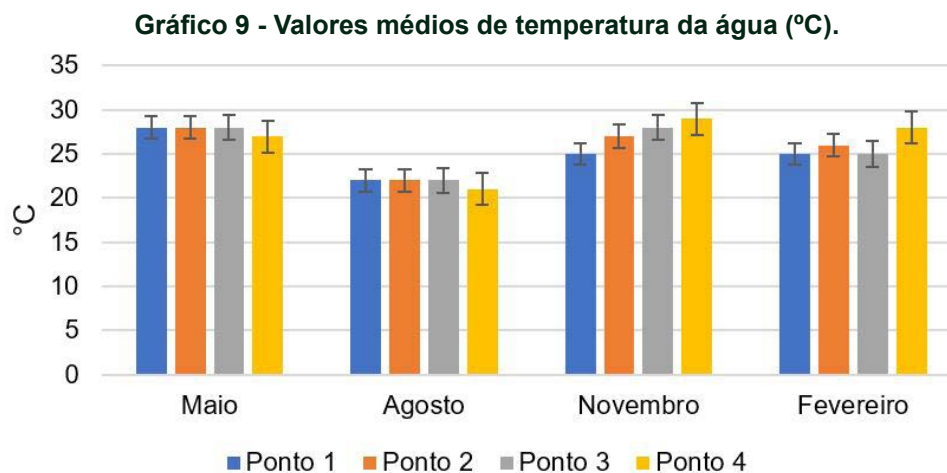
Fonte: Autoria própria.

Vale salientar que, de acordo com a Portaria nº 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde, os padrões de potabilidade da água para o consumo não devem ultrapassar o valor máximo de 1000 mg/L de sólidos dissolvidos totais (SDT). Seguindo as normas da Resolução do CONAMA 357/05, o valor máximo aceito para água classificada como salobra é entre 501 e 1.500 mg/L.

Segundo Sampaio *et al.* (2007), os sólidos são compostos por substâncias que se dissolvem e ficam em suspensão, e podem ser de substâncias orgânicas ou inorgânicas. Elevadas concentrações de sólidos dissolvidos podem aumentar a demanda química e bioquímica de oxigênio nas águas levando a diminuição do oxigênio dissolvido no meio, além disso, os sólidos dissolvidos refletem a carga de poluentes que são despejadas no rio.

## Temperatura

Durante os estudos, as variações da temperatura da água foram registradas entre 21° e 29°C, apresentando esse maior valor no mês de novembro de 2019 (gráfico 9). A resolução do CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) não estabelece uma faixa de temperatura adequada para um corpo hídrico, mas determina que para o lançamento de efluentes, a temperatura do dejetado tratado deve ser inferior a 40°C, e que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura.

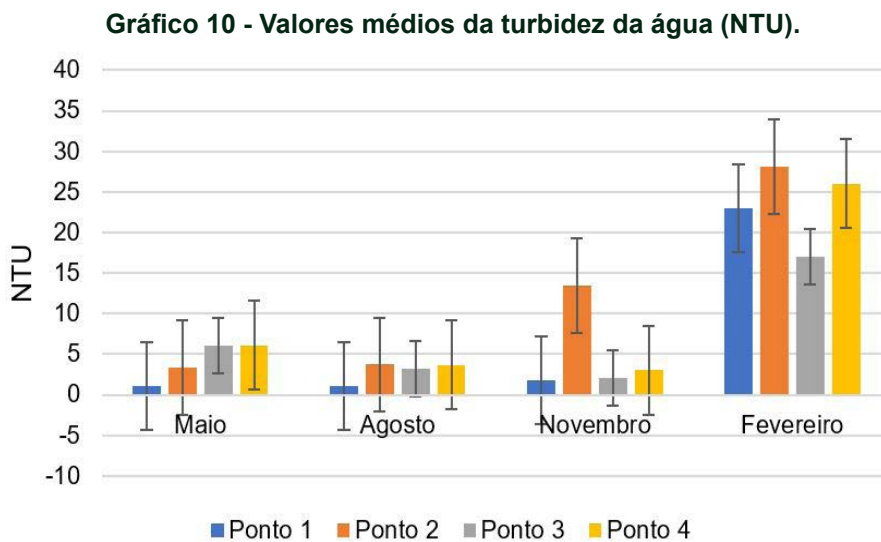


Fonte: Autoria própria.

Na pesquisa realizada por Marmontel e Rodrigues (2015) no Córrego Pimenta em São Manuel - SP foram verificadas temperaturas semelhantes aos encontrados no rio Cuité.

## Turbidez

Os valores de turbidez se mantiveram dentro dos padrões da resolução vigente (gráfico 10), ressaltando os valores bastante elevados em todos os pontos das amostras no mês de fevereiro/2020. Com base na resolução do CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), para rios de classe II, o valor máximo da turbidez corresponde a 100 NTU.



Fonte: Autoria própria.

Não obstante, os dados obtidos no presente estudo superaram significativamente os valores de turbidez encontrados na microbacia de Palmital em Macaé – RJ, entre 1,19 e 1,97 NTU (Fernandes *et al.*, 2012), notadamente no mês de fevereiro de 2020.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir que o oxigênio dissolvido (no mês de agosto de 2022) e os sólidos dissolvidos totais apresentaram valores acima dos padrões estabelecidos pelas Resolução nº 357/2005 do CONAMA e/ou Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Os demais parâmetros (alcalinidade, dureza total, condutividade elétrica, pH, salinidade, temperatura e turbidez) estão em conformidade com normas acima citadas.

De acordo com os dados obtidos na avaliação macroscópica, foi constatado que o grau de preservação do entorno dos locais de coleta ficou entre ruim e péssimo, devido a utilização dos locais para monocultura e criação de animais às margens do rio, além da retirada de grande parte da vegetação circunvizinha.

Estas informações servem para sinalizar os gestores municipais e a população sobre a atual situação do rio Cuité e para alertar da importância de termos cuidado com esse recurso hídrico.

## REFERÊNCIAS

- APHA - **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 1998. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Santa Maria, RS (Brazil). 2002. EditoraUfsm. 2ªed. 211 p.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. -- Brasília: ANA, 2017. 169p. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf/view> > Acesso em: 25/09/2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: < [http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf) > Acesso em: 20/03/2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, n. 92, p. 89. Disponível em: <Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> >. Acesso em: 03 jun. 2018.
- BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm) > Acesso em: 07/10/2019.
- CORADI P.C., RAMIREZ O.P., FIA R. MATOS A.T. 2009. **Qualidade da Água Superficial da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim**. Rev. Bras. Ciênc. Ambient 3(1): 53-64.
- DIAS, G. F. **Educação Ambiental: Princípios e Práticas**. Editora Gaia, São Paulo. 5ª edição. 400. 1998.
- DIAS, N. S. *et al.* **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Salinidade. Fortaleza-CE, 2016, p. 151-162. Disponível em: < [https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf\\_pubs/P2542.pdf](https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20361500/pdf_pubs/P2542.pdf) > Acesso em: 15/02/2021.
- DREVER, J. I. **The Geochemistry of natural waters**. [S.l.]: Prentice Hall, 1988.
- FERNANDES, M. M. *et al.* **Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Palmital, Macaé – RJ**; Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável; v. 7, n. 3, p. 137-142, Jul-set, 2012.
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T. **Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo**. Ver Bras. Eng. Agric. Ambient. v.13, n.6, p.772–780, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/LvGGs4WQxyqXLX4VKRjTsm/?lang=pt&format=pdf> > Acesso em: 03/07/2020
- GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. **Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia - MG**: Análise macroscópica; Sociedade e Natureza; 17 (32): 103 – 120,



- jun. 2005. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/9169>> Acesso em: 15/08/2020
- GUIA de **Avaliação da Qualidade das Águas**. 2004. Disponível em: <[http://www.rededasaguas.org.br/observando/guia\\_de\\_avaliacao\\_de\\_qual\\_agua.doc](http://www.rededasaguas.org.br/observando/guia_de_avaliacao_de_qual_agua.doc)> Acesso em:15/08/2020
- IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Consulta de Cidades e Estados. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/cuite.html>>. Acesso em: 20 julho 2020.
- KROLOW, I. R. C. *et al*; **Qualidade da água de poços tubulares utilizada no abastecimento de escolas rurais na Região Central do Rio Grande do Sul**. Thema; Vol. 15 n. 4, p. 1425 – 1441, 2018. Disponível em: < <http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/thema/article/view/920> > Acesso em: 13/10/2020.
- LIBÂNIO, MARCELO. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4ª ed. Campinas, São Paulo: Editora Átomo, 2016. 640p.
- MA, H.; TSAI, T. F.; LIU, C. C. **Real-time monitoring of water quality using temporal trajectory of livefish**. Expert Systems whit Applications, n.7, v.37, p. 5158-5171, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417409011221>> Acesso em: 22/08/2019.
- MACHADO, J. P. O. *et al*. **Introdução à hidrogeografia**. Cengage Learning. São Paulo, 2012.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. Ed. – São Paulo: Atlas. 2003.
- MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. **Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar**. Floresta e Ambiente 2015; 22(2):171-181. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/floram/a/FLjzsqWFfts4TQ46hshcSCJ/abstract/?lang=pt> > Acesso em: 15/10/2020.
- MIRANDA, M. V. T. *et al*. **Índice da qualidade da água da Ilha de Mosqueiro-PA**. Revista DAE. Pg. 74-81, 2016. Disponível em: < [http://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_201\\_n\\_1618.pdf](http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_201_n_1618.pdf) > Acesso em: 01/10/2020.
- PIRES, L. C. D.; OLIVEIRA, A. C. P. **Monitoração da qualidade hídrica das lagoas de Jacarepaguá e Camorim através de ensaios ecotoxicológicos com Daphnia similis**. Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade; jun. 2017. Disponível em: < [https://itr.ufrj.br/sigabi/wp-content/uploads/6\\_sigabi/Sumarizado/PIRES\\_LEONARDO\\_102.pdf](https://itr.ufrj.br/sigabi/wp-content/uploads/6_sigabi/Sumarizado/PIRES_LEONARDO_102.pdf) > Acesso em: 13/10/2020
- SAMPAIO, C. S. *et al*. **Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias**. Irriga, Botucatu, v.12, n.4, p.557-562. 2007. Disponível em: < <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3338#:~:text=Os%20resultados%20mostraram%20que%20h%C3%A1,de%20latic%C3%ADnio%2C%20sendo%20que%20nos> > Acesso em: 14/07/2020.
- SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F.; MIGUÉIS, A. M. **Diagnostico da qualidade da água do rio Parauapebas** (Pará-Brasil). Acta Amazônica; Vol. 42 (3), pag. 412-422. 2012. Disponível em: < [https://pdfs.semanticscholar.org/b72a/6c6897e63e730375e6a8bc2cc8d0ff70f5c4.pdf?\\_ga=2.248593733.335137555.1622819777-1342033686.1622819777](https://pdfs.semanticscholar.org/b72a/6c6897e63e730375e6a8bc2cc8d0ff70f5c4.pdf?_ga=2.248593733.335137555.1622819777-1342033686.1622819777)> Acesso em: 10/10/2020

SOUZA, J. R. *et al.* **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos.** Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA, Fortaleza, v. 8, n. 1, abr. 2014. Disponível em: < <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>> Acesso em: 28/06/2020.

UNEP- United Nations Environment Programme . **Vital water graphics: an overview of the state of the World's Fresh and marine waters.** 2nd Edition. Nairobi, 2008.

VIALLE, C. *et al.* **Monitoring of water quality from roof runoff: interpretation using multivariate analysis.** Water Research, n.12, v.45, p.3765-3775, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135411002181>> Acesso em: 20/04/2018.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

# New geographic distribution of the species *Agama agama africana* Linnaeus, 1758 (Lizard), on the African continent

**Nilmar Azevedo de Melo**

Biologist, PhD in Environmental Technology. International Consultant. Santa Cruz do Sul, RS, Brazil

**Silmo Schüler**

PhD student in the Postgraduate Program in Environmental Technology at the University of Santa Cruz do Sul (PPGTA/UNISC). RS, Brazil

**Jair Putzke**

Federal University of Pampa - UNIPAMPA. São Gabriel, RS, Brazil

**Eduardo Alcayaga Lobo**

Professor at PPGTA/UNISC

## ABSTRACT

*Agama agama africana* (Linnaeus, 1758), is a small lizard whose males can reach up to 25 cm in length, while the females of this species do not exceed 20 cm. The male is characterized by having a blue and yellow body from tail to head. They are primarily insectivorous, but may eat small mammals, reptiles and plants. Between 2014 and 2020, field sampling was carried out to monitor Angola's fauna and flora, and identify the vegetation types in the region. The occurrence of small populations of *A. agama* was observed in four different points: 1. Calandula Falls, municipality of Calandula, Malanje province; 2. Munenga, municipality of Libolo, Cuanza Sul province; 3. Zambia, Amboim district, Cuanza Sul province; and 4. Waco Cungo, Cuanza Sul province. After an exhaustive literature review, it was discovered that there was an expansion of the geographic distribution of this species on the African continent.

**Keywords:** *agama agama africana*; new geographic distribution; Angola; Africa.

## INTRODUCTION

The African *Agama agama* lizard is characterized by its whitish underside, brown hind limbs and a tail with a slightly lighter stripe in the middle, and six to seven dark spots beside this stripe. There is some sexual dimorphism. Males, females and juveniles have an olive-green head. A blue and yellow head, tail and body characterizes the dominant male. *A. agama* has a large head separate from the body, a long tail, well-developed external ear openings and eyelids. The lizard has two canine-like incisors



for grasping and molariform for crushing. The maximum size for male lizards is 25 cm in length and female lizards are 20 cm in length (Harris, 1963).

Females reach sexual maturity between fourteen and eighteen months, males at two years. This species reproduces during the rainy season, although they can reproduce almost year-round in areas of consistent rainfall (Porter *et al.*, 1983). The male will approach the female from behind and under her head. If she accepts, then she will arch her back with her tail and head raised. The male walks to her side and grabs her neck and places his leg on the female's back, and turns 90 degrees to bring his cloaca along and push his tail over his cloaca he inserts the hemipenis. This mating ritual usually lasts one to two minutes (Harris, 1964).

The female lays her eggs in a hole she digs with her snout and claws. The hole is five inches deep and is found in moist, sandy soil that is exposed to sunlight most of the day and covered by grass. Eggs are usually laid in clutches ranging from five to seven ellipsoidal eggs. *A. agama* is a heat-regulated embryo species, resulting in all males at twenty-nine degrees Celsius and all females at 26-27 degrees Celsius (Crews *et al.*, 1983). The eggs hatch within eight to ten weeks. The pups measure between 3.7 and 3.8 centimeters long, in addition to their 7.5 centimeter tail. They almost immediately begin to feed on rocks, sand, plants and insects. Juveniles will remain solitary for the first two months, at four months they will live in a sociable group with a dominant male, several females and some subordinate male juveniles. The dominant male has preferential mating within its territory. If another male tries to mate with their females, then there is a challenge or fight (Harris, 1964).

This species is primarily insectivorous, but have been seen eating small mammals, reptiles and plants, such as flowers, herbs and fruits. Their diet consists mainly of ants, grasshoppers, beetles and termites (Harris, 1964). It is also considered an opportunistic predator, sitting in the vegetation, under an outcrop of rock, or in the shade and waiting for an insect or small mammal to pass by, then chasing the prey. They capture their prey using a tongue with the tip covered in mucous glands; this helps the lizard to hold small prey, such as ants and termites (Crews *et al.*, 1983).

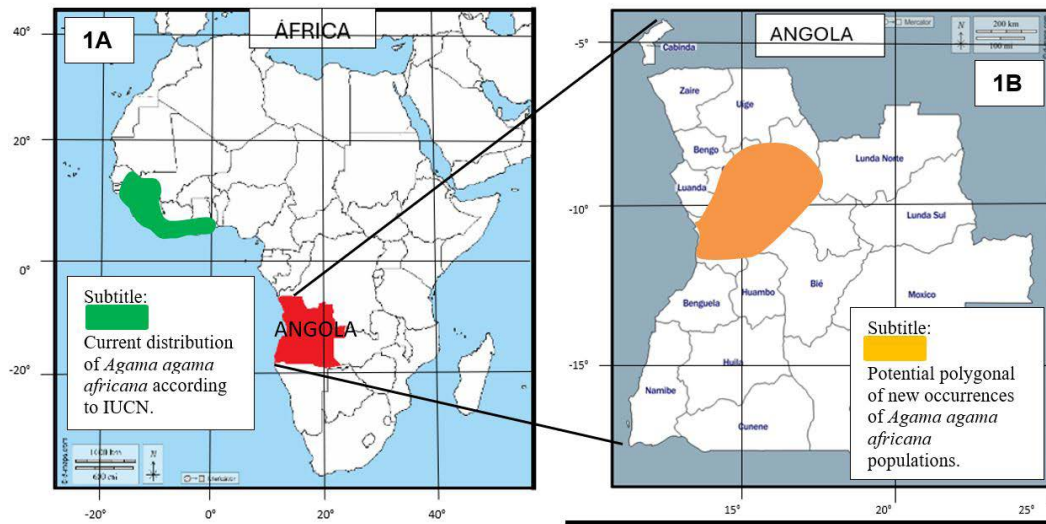
## MATERIAL AND METHODS

Between the years 2014 and 2020, field sampling was carried out to monitor species of flora and fauna in Angola, and to recognize the region's phytophysionomies, with the occurrence of small populations of *Agama agama africana* in four different sampling points: 1. Calandula Falls, municipality of Calandula, Malanje province (Lat. coordinates 9°04'35.97"S and Long. 15°59'18.93"E); 2. Munenga, municipality of Libolo, Cuanza Sul province (Lat. coordinates 10°8'1.20"S and Long. 14°40'17.45"E); 3. Zambia, Amboim district, Cuanza Sul province (Lat. coordinates 10°56'13.41"S and Long. 14°9'16.65"E); and 4. Waco Cungo, Cuanza Sul province (Lat. coordinates 11°22'17.12"S and Long. 15°10'46.68"E).

## RESULTS AND DISCUSSION

The current distribution of the species *A. agama africana* in Africa, according to Niagate *et al.* (2013) and IUCN, (2024), is presented in figure 1A. In this investigation, the species was observed at four sampling points in Angola, always in groups of 5 to 20 individuals. Therefore, it was found that there was an expansion in the geographic distribution of this species in Africa, characterizing a new area of potential Polygonal Distribution of this species in Angola, as demonstrated in figure 1B.

**Figure 1 - A. Representation of the current distribution of the species *A. agama africana* in Africa, according to Niagate *et al.* (2013) and IUCN, (2024). B. New area of potential Polygonal Distribution of this species in Angola.**



Source: prepared by the authors at [www.d-maps.com](http://www.d-maps.com).

Mediannikov *et al.* (2012) in their review of the West African genus *Agama*, concluded on both molecular and morphological approaches that this form, previously considered a subspecies of *A. agama*, is a valid species. Molecular evidence reported in this study also indicates that *A. sylvanus* samples from the type site of the species belong to *A. africana*, and *A. sylvanus* (= *A. sylvana*) is therefore considered a synonym of *A. africana* (Medianikov *et al.*, 2012). Some populations previously studied as belonging to *Agama bocourti* are now considered to belong to *A. Agama africana* (Trape *et al.*, 2012). Thus, *A. bocourti* is consequently not considered a valid species (Mediannikov *et al.*, 2012). Due to this series of taxonomic changes, the true distribution of this species needs to be clarified (Trape *et al.*, 2012). The taxonomy of this form remains unstable and is currently under review, although it is considered a valid species (Niagate, 2013).

The species has a varied distribution from northern Guinea, southeastern Ghana, through Liberia, Sierra Leone and southern Cote d' Ivoire. Due to recent confusion between this and other related species, only records supported by molecular analysis of specimens can be confirmed (Trape *et al.*, 2012). Records of *A. agama* from Guinea-Bissau, including historical reports from Formosa, Bubaque, Uno and Soga islands, are considered to represent *A. Agama africana*, however these records have not yet been published and are therefore only provisionally considered to belong to this species.



It is a semi-arboreal species, which lives in areas of forest-savannah mosaics (as observed in Munenga, municipality of Libolo, province of Cuanza Sul), occurs in areas of dense, humid and low-altitude forest, being present in forest clearings and gallery forest (as observed in Quedas de Calandula, municipality of Calandula, province of Malanje), it is also observed in plantations and in villages close to the forest or savanna (according to field observations made in Zambia, municipality of Amboim, province of Cuanza Sul, and Waco Cungo, province of Cuanza Sul).

In Guinea-Bissau, this species is most common in coastal areas with some tree cover, and observed in mangroves, but appears to be absent from treeless areas. The species lives in small colonies consisting of one male, two or more females and several juveniles. It is a generalist insectivore (Mediannikov *et al.*, 2012).

Based on the bibliographic review, it is possible to consider the geographic expansion of the species of *A. agama africana* to the African continent, highlighting its unprecedented occurrence in center-western Angola. Given this situation, and based on the distribution of the species according to Niagate *et al.* (2013), a map of the potential polygon of new occurrence of *A. agama africana* was created considering the conditions of ecological interactions of this species in relation to the preferred habitat where it occurs, forest/savanna in Angola, as can be seen in figure 2.

More detailed studies of behavior, reproduction and distribution should be carried out in the future, to better understand and justify the specific occurrence of this species in Angola. Figures 2 and 3 show individuals of *A. agama africana* in their natural habitat.

**Figure 2 - Male specimen of *Agama agama africana* observed in Munenga, municipality of Libolo, Cuanza Sul province.**



**Figure 3 - Female specimen of *Agama agama africana* observed in Munenga, municipality of Libolo, Cuanza Sul province.**



## FINAL CONSIDERATIONS

This research confirms the presence of the species *Agama agama africana* in four new locations in Angola: Calandula Falls, Munenga, Zambia and Waco Cungo, expanding its distribution record on the continent. Previous observations indicated the presence of the species only in the northwest of the African continent, so our results expand knowledge about the geographic distribution of the species on the continent.

Additional studies are needed to assess the population size, age structure and population dynamics of this species in the recently recorded locations. It is also recommended to investigate the different types of habitat used by this species and its feeding habits in Angola. The expansion of the species' geographic distribution raises questions about possible ecological impacts and the need for management and conservation measures.

## REFERENCES

CREWS, D., GUSTAFSON, J.E. TOKARZ, R.R. **Physcobiology of parthenogenesis**. 205.232. Harvard University Press. 1983.

HARRIS, V. **The anatomy of the rainbow lizard: Agama agama (L) With a glossary of anatomical terms**. Ed. Hutchinson, 11, 104p. 1963.

HARRIS, V. **The life of the rainbow lizard**. Ed. Hutchinson. 1964.

IUCN. 2024. **IUCN Red List of Threatened Species** (ver. 2023.1). Available at:<http://www.iucnredlist.org>. (Accessed: June 23, 2024).

MEDIANNIKOV, O., TRAPE, S. TRAPE, J.-F. **A molecular study of the genus Agama (Squamata: Agamidae) in West Africa, with description of two new species and a review of the taxonomy, geographic distribution and ecology of currently recognized species**. *Russian Journal of Herpetology* 19(2): p.115-142. 2012.

NIAGATE, B., TRAPE, J. & WAGNER, P. 2013. *Agama africana*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013.

PORTER, W., TRACY, C. **Biophysical analysis of energetics, time-space utilization, and distributional limits**. 55-83. Harvard University Press. 1983.

RABIU, S. **Dimensions of Home Range Structure of Agama agama in the Savanna Region of Nigeria**. *Herpetological Conservation and Biology* 15(2):318–324. 2020.

TRAPE, J.-F., TRAPE, S. CHIRIO, L. **Lézards, crocodiles et tortues d'Afrique occidentale et du Sahara**. IRD Editions, Marseille. 2012.

# Plantas sensíveis: as *Mimosas*

## *Sensitive plants: the Mimosas*

**Amanda Patrocínio da Cunha**

<http://lattes.cnpq.br/8168926919353527>

**Fernando Mendes**

<http://lattes.cnpq.br/9690833802866983>

**Ana Angélica Mathias Macêdo**

<http://lattes.cnpq.br/7219178586824787>

### RESUMO

Trata-se de uma revisão sistemática da literatura científica sobre as espécies do gênero *Mimosa*, no que se refere à: fisiologia, a disseminação global, características morfológicas e fisiológicas, bem como, a classificação taxonômica. Descreve-se os mecanismos de movimento das folhas sensíveis das *Mimosa*, que reagem ao toque, fechando-se rapidamente, devido aos complexos processos biológicos e químicos subjacentes. O estudo foca especialmente nas espécies *Mimosa pudica* L., *Mimosa candollei* R. Grether e *Mimosa invisa* Mart., evidenciando a diversidade dentro do gênero. A metodologia envolveu a utilização de combinações de palavras-chave relacionadas ao estudo das *Mimosas*, incluindo termos botânicos específicos, características morfológicas e ecológicas. Fez-se busca em revistas de botânica, periódicos digitais, bases de dados científicas e livros de biologia, biofísica e química. Por fim, ressalta-se a importância da compreensão botânica para a sustentabilidade da vida, enfatizando a necessidade contínua de explorar e entender as plantas como parte essencial do nosso planeta.

**Palavras-chave:** *Mimosa pudica* L; *Mimosa candollei* R.Grether; *Mimosa invisa* Mart.

### ABSTRACT

This is a and systematic review of the scientific literature on the species of the genus *Mimosa*. It explores existing knowledge about the physiology of these species, their global spread, morphological and physiological characteristics, as well as their taxonomic classification. The mechanisms of movement of the sensitive *Mimosa* leaves, which react to touch by closing rapidly, are described, highlighting the complex biological and chemical processes behind them. The study focuses especially on the species *Mimosa pudica* L., *Mimosa candollei* R. Grether and *Mimosa invisa* Mart., highlighting the diversity within the genus. The methodology involved using combinations of keywords related to the study of *Mimosas*, including specific botanical terms, morphological and ecological characteristics. The search-



ch was carried out in botanical journals, digital periodicals, scientific databases and books on biology, biophysics and chemistry. Finally, the importance of botanical understanding for the sustainability of life is highlighted, emphasizing the ongoing need to explore and understand plants as an essential part of our planet.

**Keywords:** *Mimosa pudica* L; *Mimosa candollei* R.Grether; *Mimosa invisa* Mart.

## INTRODUÇÃO

A ampla utilização dos recursos provenientes das plantas e sua inegável importância para a vida na Terra, principalmente devido à fotossíntese, um dos pilares na produção de oxigênio no planeta, impulsionam constantes estudos motivados pela curiosidade e pelo desejo de compreendê-las. Desde os primórdios, a interdependência direta e indireta entre a humanidade e as plantas, tanto terrestres quanto aquáticas, é uma realidade que se estende até o século XXI. Por esta razão, muitos reconhecem a história da Botânica como intrinsecamente ligada à da humanidade (Mancuso, 2019).

Desde as algas azuis no Pré-Cambriano até as angiospermas, destacam-se a incrível adaptabilidade e diversidade que caracterizam o reino vegetal. A Botânica emergiu como uma disciplina científica crucial para compreender a morfologia, a anatomia das plantas, bem como sua importância para sustentação da vida na Terra.

No contexto das *Mimosas*, explora-se a disseminação global, desde a América Central e do Sul até regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo. Sua capacidade única de reagir ao toque, fechando suas folhas rapidamente, é resultado de complexos processos fisiológicos, envolvendo alterações no turgor celular, potenciais de ação e movimentação de íons. O estudo dessas espécies se revela fascinante, devido à notável capacidade de resposta a estímulos, mas também pela riqueza de informações que proporciona sobre a evolução botânica, fisiologia vegetal e ampla distribuição geográfica.

A diversidade botânica é vasta, refletindo adaptações incríveis ao longo de milhões de anos de evolução. Como entrelinhas para os próximos capítulos, as notáveis *Mimosas*, servem como um exemplo fascinante da complexidade e da diversidade intrínseca do reino vegetal. Ao explorar os meandros dessa planta sensível, mergulha-se profundamente nos intrincados ecossistemas e na vasta gama de respostas que as plantas têm ao seu ambiente, enriquecendo nossa compreensão do mundo botânico.

## METODOLOGIA

### Estratégia de Busca

A busca foi realizada em revistas de botânica, jornais digitais, livros de biologia, biofísica e química relacionados. Foram utilizadas combinações de palavras-chave relacionadas ao estudo das *Mimosas*, incluindo termos botânicos específicos, características morfológicas e ecológicas.

## **Crítérios de Inclusão e Exclusão**

Os critérios de inclusão foram materiais que abordaram aspectos botânicos, ecológicos, fisiológicos, taxonômicos, ou qualquer outra área relacionada ao estudo das *Mimosas*. Foram excluídos estudos que não estavam disponíveis integralmente.

## **Processo de Seleção**

Inicialmente, os títulos e resumos de todos os artigos identificados foram revisados para determinar sua relevância. Os artigos selecionados foram lidos na íntegra para avaliar sua adequação aos objetivos da revisão.

## **Análise dos Dados**

Os dados relevantes foram extraídos dos estudos selecionados, incluindo informações sobre morfologia, fisiologia, ecologia, distribuição geográfica, interações bióticas e abióticas das *Mimosas*.

## **Síntese das Informações**

As principais contribuições acadêmicas e científicas relacionadas ao estudo das *Mimosas* foram sintetizadas e organizadas de acordo com temas relevantes, permitindo uma compreensão abrangente do conhecimento na área.

## **CULTURA DAS MIMOSAS**

Dados etimológicos indicam que o termo “Mimosa” tem origem na palavra grega *mimein*, que significa “realizar movimento”. Este termo é aplicado a espécies de plantas que apresentam o comportamento de fechar suas folhas (Burkart, 1979). Historicamente, a *Mimosa* foi introduzida em diversas regiões tropicais e subtropicais, adaptando-se e tornando-se invasora em locais específicos. Reconhecida como uma das ervas daninhas mais notórias, com destaque para a *Mimosa pigra*, listada entre os 100 organismos mais invasivos do mundo (Lowe *et al.*, 2000).

As *Mimosas* são plantas nativas da América Central e América do Sul, possui características arbustivas e são conhecidas por diferentes nomenclaturas em regiões do Brasil, como ‘sensitiva’, ‘maria-vergonhosa’, ‘dormideira’, ‘não-me-toques’ e ‘malícia’ (Ahmad *et al.*, 2012). Sua disseminação nos trópicos começou no século XIX, marcada pela introdução obscura na Ásia, possivelmente pelos padres jesuítas antes de 1800 (Barneby, 1991).

Foi registrada em diversas localidades, incluindo Taiwan (1645), Hong Kong, Samoa e Tonga, contudo na Tailândia, era considerada uma ‘praga’ no final do século XIX e no Sri Lanka, tornou-se uma erva daninha em 1900 (Culbertson, 1894; Fairchild, 1902). Todavia, há registros de sua presença em várias partes do mundo já no século XVIII. E, apesar de sua origem nas Américas, a *Mimosa* expandiu-se globalmente ao longo dos séculos, utilizando o comércio de sementes e mudas, bem como sua capacidade natural de dispersão (Culbertson, 1894; Fairchild, 1902).



O Brasil abriga a maior concentração de espécies do gênero, especialmente na região do Cerrado, uma zona de alta biodiversidade. Nesse ambiente, encontra-se um quarto de todas as espécies de *Mimosa*, sendo que 74% delas são restritas ao bioma e cerca de 50% são endêmicas (Simon; Proença, 2000). Porém, com seu comportamento singular, ela se torna praticamente imperceptível para predadores herbívoros, estratégia defensiva, impulsionada pela reação química de transferência de energia que desencadeia outras respostas de defesa morfológica, mas também a presença de espinhos, desempenham uma camada adicional de proteção (Braam, 2005).

Quanto à classificação taxonômica (fig. 1), a *Mimosa* L., pertence ao reino Plantae e à divisão Magnoliophyta, o grupo das plantas com flores. O gênero em estudo integra a família Fabaceae (ou leguminosae), constituída por aproximadamente 343 espécies, distribuídas em 50 gêneros (Polhill *et al.*, 1981). E, a família ocupa o terceiro lugar no ranking dos grupos das Angiospermas (730 gêneros e 19.400 espécies, classificadas em: Caesalpinioideae, Mimosoideae e Papilionoideae), com características de arbustos, ervas e folhas do tipo bipinadas são integrantes das *Mimosas* (Dutra *et al.*, 2008).

Figura 1 - Classificação taxonômica da *Mimosa* L.



Fonte: Autores, 2024.

O gênero Mimosoideae é um dos mais abundantes da tribo Mimoseae, conta com aproximadamente 510 espécies. Sua presença é notável em diversas regiões, incluindo campos, florestas e savanas, o que evidencia sua notável adaptação a esses variados habitats. Geralmente, são encontradas em roças abandonadas, capoeiras e beiras de estradas, porém não impede o estabelecimento de outras espécies, contudo suas características as tornam adequadas para estágios iniciais de restauração ambiental (Burkart, 1979).

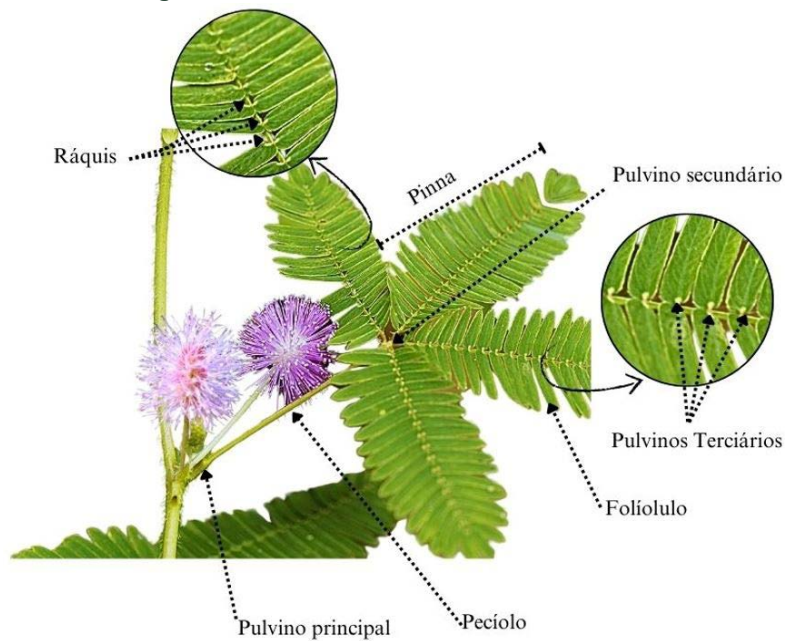
Suas sementes podem germinar sob elevado estresse hídrico, alta salinidade e a profundidades de até 6 centímetros, mostrando uma dormência exógena do tipo física; além disso, é tolerante à sombra (Chauhan; Johanson, 2009). Sua resistência, rusticidade, adaptação a diversos tipos de solo, capacidade de fixação de nitrogênio e enraizamento de partes aéreas a tornam uma escolha ideal. No universo diversificado dessas espécies, as respostas dessas plantas resultam em adaptações evolutivas específicas, contribuindo para sua popularidade em estudos científicos, mas também em jardins botânicos ao redor do mundo (Bärtels, 2007).

## Fisiologia das *Mimosas*

As *Mimosas*, em geral, são compostas por uma estrutura que inclui raiz, caule e folha. Portanto, todos os tecidos presentes no corpo primário da raiz também estão presentes no corpo primário do caule e da folha (Menezes; Silva; Pinna, 2012). Estão organizadas em folhas compostas com um número superior a três folíolos. A lâmina foliar se encontra subdividida em múltiplas unidades chamadas folíolos, que se articulam sobre a ráquis da folha, podem apresentar pecíolos ou serem sésseis. (Almeida; Almeida, 2018).

Com base na quantidade de folíolos, a folha pode ser classificada como: unifoliolada, bifoliolada e trifoliolada, todavia quando o número ultrapassa três, as folhas podem ser categorizadas conforme a disposição, sendo classificadas como pinadas (bipinada, tripinada, quadripinada) e palmaticompostas. A *Mimosa* apresenta folhas bipinadas, no qual a ráquis é dividido em duas pinas (fig. 2).

Figura 2 - Estrutura da folha da *Mimosa* L.



Fonte: Autores, 2024.

A notável capacidade de fechar suas folhas em resposta ao toque é devido à presença de pulvinos em seu pecíolo. O pulvino primário, localizado na base do pecíolo, desempenha um papel fundamental no fechamento rápido da folha quando estimulada. Além disso, pulvinos secundários e terciários ao longo do pecíolo atuam na modulação fina e na regulação dos movimentos foliares, permitindo à planta ajustar sua resposta de maneira adaptativa às condições ambientais (Visnovit; Világi; Kristóf, 2007).

## Movimento das *Mimosas*

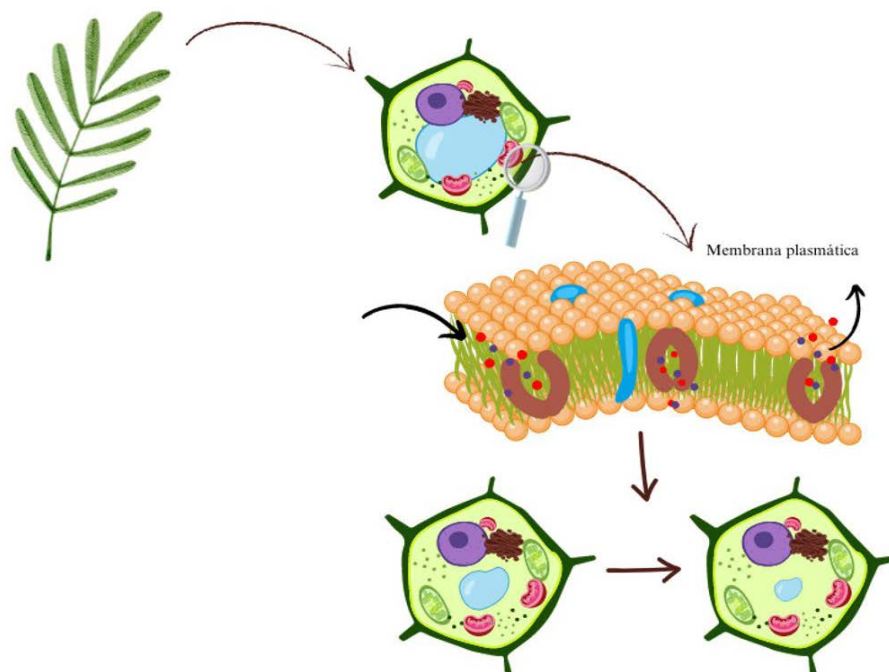
Os vegetais exibem uma relativa capacidade de movimento, muitos deles resultado de modificações nos padrões de crescimento influenciados por fatores externos. Um exemplo notável é observado nas *Mimosas*, que fecham suas folhas imediatamente ao toque devido a alterações na pressão de turgor em células localizadas na base dos folíolos, conhecidas como pulvinos (Coley; Barone, 1996).

Os movimentos desse gênero em resposta aos estímulos são denominados como Násticos, e a direção que estes ocorrem não depende do estímulo que os originou. Os movimentos násticos mais populares são os de repouso, denominados nictinásticos, termo que deriva da palavra grega “nyktos”, que significa “noite”, e “nasctic”, “fechado”. Tal movimento é uma resposta aos ritmos diários. Normalmente, as *Mimosas* possuem movimentos tigonásticos (seismonásticos), nos quais os folíolos ou a folha inteira se fecham em resposta ao toque, vibração, estímulo elétrico ou térmico.

O fechamento da *Mimosa* em resposta ao toque envolve uma combinação complexa de eventos biológicos e químicos, incluindo a alteração do turgor nas células, movimento de água e íons, mudanças elétricas e possíveis liberações de substâncias químicas, que colaboram para o fenômeno característico das folhas dessa planta.

Nesse sentido, a relação entre solo, água e planta é crucial para o fenômeno de turgescência das plantas, onde a pressão de turgor é gerada pela entrada de água nas células por osmose. A pressão de turgor é a força exercida pela água dentro da célula, impulsionando a parede celular. E, havendo quantidade significativa de água pressionando a parede celular, a pressão de turgescência será alta, tornando a célula rígida (Cavalcante; Cavallini; Lima, 2009).

**Figura 3 - Perda de turgor em células vegetais.**



Fonte: Autores, 2024.

Em contrapartida, quando a água deixa a célula, a pressão de turgescência diminui, resultando em uma célula flácida (fig. 3). Esse movimento de água para dentro e para fora da célula é conhecido como osmose, um processo que ocorre devido à diferença de concentração de solutos, como íons de sódio ou potássio, entre os lados da membrana celular (parede celular). A água se desloca da região com maior concentração de solutos para a região com menor concentração, alcançando um equilíbrio entre os dois lados (Lessard *et al.*, 1997).

Estudos indicam que a estimulação da *Mimosa* desencadeia mudanças nos canais iônicos presentes nas membranas celulares, resultando em uma rápida variação no potencial elétrico através das células, conhecido como potencial de ação que desempenham um papel na regulação do fluxo de água dentro e fora das células, contribuindo para as mudanças no turgor.

### Potencial de Ação

A existência de pequenas células mecanorreceptoras vermelhas, localizadas na parte inferior das folhas, auxilia nas respostas às perturbações mecânicas. Como resultado, originam-se propagações de impulsos elétricos na extensão das ráquis, responsáveis pelo movimento da planta (Visnovitz *et al.*, 2007). Considerando um toque forte, os impulsos elétricos ou potenciais de ação percorrem as ráquis, em seguida o pecíolo e, por fim, o pulvino, via floema (Pavlovic, 2012).

Outro fator importante está relacionado às forças hidráulicas e ao órgão vegetal. Os vacúolos, constituídos por água, representam uma parte significativa do volume celular, cerca de 80%. Isso ocorre por meio de canais especiais, que movimentam rapidamente a água para dentro e fora dos vacúolos, em um processo análogo aos canais iônicos. O movimento da água é conduzido pelo potencial de ação, explicado pela movimentação de íons na membrana celular (Pavlovic, 2012).

Nesse contexto, o potencial de ação se origina com o aumento dos níveis de cálcio na região intracelular, que ao se tornar positivamente carregado, eleva a voltagem no interior da célula. Posteriormente, com o aumento da voltagem, os canais de cloreto, sensíveis à voltagem, são abertos, permitindo o fluxo de cloreto para fora da célula e tornando seu interior mais positivo. Em resposta a esse fluxo de cloreto, abrem-se os canais de potássio, permitindo que este se desloque para fora da célula. Assim, ocorre um equilíbrio de cargas, restaurando o potencial de repouso, com o potássio carregado positivamente (Pavlovic, 2012).

Consequentemente, há um excesso de íons de cloro e potássio na parte externa das células, causando um desequilíbrio osmótico, resultando na perda de água nas células, que encolhem e promovem o movimento ao longo da estrutura da planta. Logo após, a planta pode se restabelecer, absorvendo água e readquirindo íons de cloro e potássio nas células, que demanda energia, porém é lento e cada planta possui um tempo específico, o caso da *Mimosa pudica* L., requer cerca de 10 minutos (Fromm, 2007).

### Espécies de Mimosas

As *Mimosas* são plantas perenes (ciclo de vida longo), herbáceas (estrutura não lenhosa, ciclo de vida anual ou perene, morte acima do solo em condições adversas, rápido crescimento, flexibilidade e variedade). Dentro do vasto gênero *Mimosa*, encontra-se uma riqueza de diversidade, evidenciada pelas diferenças morfológicas entre suas espécies, tais como: *Mimosa pudica* L., *Mimosa candollei* R. Grether e *Mimosa invisa*. Mart. Cada uma delas possui características específicas que contribuem para a biodiversidade dentro da família Fabaceae.



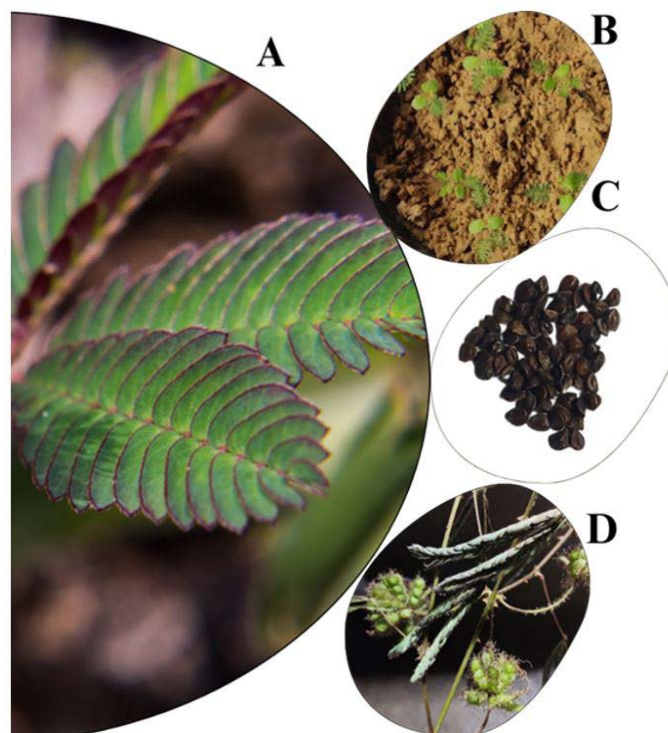
A grande família das *Mimosas* compartilham características em comum, sendo elas: folhas bipinadas (compostas e cada folha é subdividida em pares de folíolos), flores agrupadas em cabeças ou espigas (formando inflorescências características), simetria bilateral das flores (divididas em duas metades idênticas por um plano vertical), presença de estípulas (pequenas estruturas em forma de folha localizadas na base do pecíolo das folhas), frutos em forma de vagem ou legume (frutos se abrem para liberar as sementes quando maduros), presença de nódulos radiculares (capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio de nódulos radiculares simbióticos convertendo o nitrogênio atmosférico em uma forma utilizável pelas plantas) (Almeida; Almeida, 2018).

É imprescindível salientar que essas características são gerais para a família Fabaceae, subfamília Mimosoideae e variações específicas podem ocorrer entre as diferentes espécies dentro dessa família, principalmente com relação a diversidade de hábitos de crescimento.

***Mimosa pudica* L., *Mimosa candollei* R. Grether e *Mimosa invisa* Mart.**

A *Mimosa pudica* L. Figura 4 é constituída de pelos que vão em direção ao ápice (ponto de crescimento principal da planta), possui comprimento em torno de 1 a 2 metros, propagando-se por meio de sementes (Lorenzi, 2000).

**Figura 4 - A: *Mimosa pudica* L.; B: Crescimento foliar da *Mimosa pudica* L.; C: Sementes.; D: Vagens das sementes.**



Fonte: Autores, 2024.

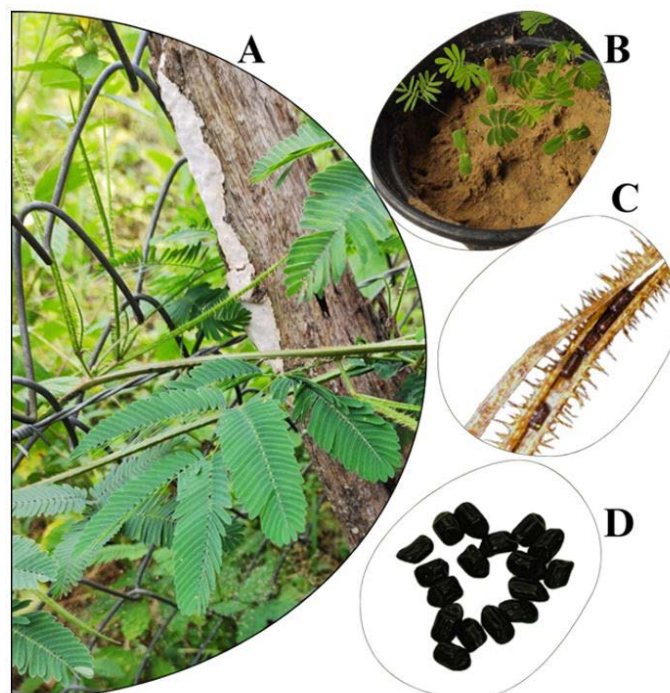
Além disso, é uma planta com caule prostrado e altamente ramificado, apresenta ramos cilíndricos de coloração verde a vermelho. As folhas são bipinadas, geralmente com 4 folíolos ou pinas, cada um com um curto peciólulo, formato oblongo e dispostos em aproximadamente 18 a 20 pares. A inflorescência é globosa e rosada, com flores numerosas e sésseis. As flores têm cálice e corola com peças soldadas pouco visíveis,



estames rosados e longos, e um gineceu unicarpelar com estilete branco. O fruto seco é do tipo craspédio, fragmentando-se em artículos unisseminados, enquanto as bordas dos carpelos permanecem na planta-mãe (Moreira; Bragança, 2010).

A *Mimosa pudica* L. e a *Mimosa candollei* R. Grether são duas espécies de plantas que compartilham semelhanças, apesar de suas diferenças notáveis. A *Mimosa candollei* R. Grether (Fig. 5) possui caule lenhoso, intensamente ramificado e revestido por espinhos curvos, mas sua maior distinção é ser quadrático e glabro. As folhas são alternadas, com um pecíolo quadrático, características espinhosas e pulvinos na base para coletar foliólulos. O limbo é bipinado, com folíolos sésseis, pouco pilosos, de formato oblongo, ápice levemente agudo e margens inteiras. As flores são globosas, agrupadas em 1 ou 2 pares por axila. (Moreira; Bragança, 2010).

**Figura 5 - A: *Mimosa candollei* R. Grether; B: Crescimento foliar da *Mimosa candollei* R. Grether; C: Vagem das sementes; D: Sementes.**



Fonte: Autores, 2024.

A *Mimosa invisa* Mart. (Fig. 6) é uma espécie subarbustiva com longos ramos escandentes, com estruturas pontiagudas chamadas de acúleos que revestem a planta, podendo causar ferimentos em animais. O caule é anguloso, estriado e verde, coberto por pelos e espinhos apontando para baixo. As folhas são alternadas e pecioladas, com uma inflorescência terminal composta por capítulos aculeados. Cada capítulo contém flores sésseis, com um cálice de quatro sépalas soldadas e uma corola tubulosa de quatro pétalas. O androceu possui oito estames longos e o gineceu apresenta um ovário alongado, enquanto as pétalas e os estames são rosas e o fruto seco do tipo craspédio possuem margens aculeadas (Moreira; Bragança, 2010).

**Figura 6 - *Mimosa invisa* Mart.**

Fonte: Autores, 2024.

Portanto, as principais diferenças entre essas espécies incluem características morfológicas do caule, presença de acúleos, disposição das folhas, tipo de inflorescência e características florais específicas.

## DISCUSSÃO

O estudo das espécies do gênero *Mimosa* trouxe à luz aspectos cruciais sobre a fisiologia, disseminação, características morfológicas e taxonômicas dessas plantas. A análise detalhada dos mecanismos de movimento de suas folhas revelou processos biológicos e químicos complexos que podem ser aplicados em diversas áreas científicas, desde a biotecnologia até a engenharia de materiais inspirados pela natureza. Esses mecanismos envolvem alterações no turgor celular, potenciais de ação e movimentação de íons, que são processos fundamentais não apenas para o estudo das plantas, como também para a compreensão de sistemas biológicos em geral.

Estudos prévios, como os de Burkart (1979) e Braam (2005), já haviam destacado a ímpar capacidade de resposta ao toque dessas plantas. Em relação à propagação das *Mimosas*, confirmam-se os dados históricos sobre a introdução e invasividade, reforçando a necessidade de monitoramento e controle dessas plantas em ecossistemas sensíveis, como observado por Lowe *et al.* (2000).

A diversidade dentro do gênero *Mimosa*, com destaque para as espécies *Mimosa pudica* L., *Mimosa candollei* R. Grether e *Mimosa invisa* Mart., evidencia a vasta adaptabilidade dessas plantas a diferentes ambientes. A presença significativa delas no Cerrado brasileiro, uma região de alta biodiversidade, ressalta a importância ecológica e a adaptabilidade das *Mimosas*. Simon e Proença (2000) indicam que 74% dessa espécie são restritas ao Cerrado, com cerca de 50% sendo endêmicas, destacando a relevância da conservação desse bioma.

O movimento das folhas de *Mimosa*, explicado por processos fisiológicos complexos como os movimentos násticos e o potencial de ação, é um exemplo notável de adaptação evolutiva. Estudos como os de Visnovitz *et al.* (2007) e Pavlovic (2012) foram cruciais para entender os mecanismos de movimento foliar, incluindo o papel dos canais iônicos e a pressão de turgor. A presente revisão adiciona uma visão integrada desses processos, mostrando como a interação entre fatores biofísicos e bioquímicos permite uma resposta rápida e eficiente ao estímulo, o que pode ser explorado para desenvolver tecnologias biomiméticas.

A importância das *Mimosas* na sustentabilidade da vida e na manutenção da biodiversidade evidencia a necessidade contínua de explorar e entender as plantas como parte essencial do nosso planeta, alinhando-se com o que foi destacado por Mancuso (2019), sobre a interdependência entre a humanidade e as plantas. As estratégias de adaptação das *Mimosas*, como a resistência às condições adversas e a fixação do nitrogênio, demonstram seu potencial para contribuir em projetos de restauração ambiental e na agricultura sustentável.

Apesar dos avanços no conhecimento sobre as *Mimosas*, há vazios a serem preenchidos. A diversidade genética dentro do gênero, os impactos ecológicos de sua propagação e as aplicações práticas de seus mecanismos de movimento são áreas que serão levantadas em mais pesquisas. Além disso, a compreensão completa das interações bióticas e abióticas dessas plantas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Abotânica se revela como um campo de estudo essencial não apenas para desvendar os segredos da vida vegetal, mas também para sustentar aspectos fundamentais da existência humana. A importância das plantas vai além de suas funções básicas de fornecer alimentos e oxigênio, desempenhando um papel crucial em ecossistemas complexos e em uma variedade de indústrias, desde a medicina até a produção de materiais.

As *Mimosas*, com sua fascinante capacidade de resposta a estímulos, além de revelar a complexidade do reino vegetal, são úteis para pesquisa em diversas áreas de conhecimento, visto que suas propriedades únicas e seu impacto em diferentes ecossistemas ressaltam a necessidade contínua de explorar e compreender como componentes essenciais da vida na Terra.

## REFERÊNCIAS

AHMAD, H.; SEHGAL, S.; MISHRA, A.; GUPTA, R. *Mimosa pudica* L. (Laajvanti): An overview. **Pharmacogn Rev.** 2012 Jul;6(12):115-24. DOI: 10.4103/0973-7847.99945. PMID: 23055637; PMCID: PMC3459453.

ALMEIDA, M. de; ALMEIDA, C. V. de. **Morfologia da folha de plantas com sementes.** Livro 3 (Coleção Botânica). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/9788586481642>. Disponível em: [www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1025](http://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1025). Acesso em: 26 dezembro. 2023.

- BÄRTELS, A. **Guia de Plantas Tropicais**: plantas ornamentais, plantas úteis, frutos exóticos. Rio de Janeiro, Lexikon, 379p, 2007.
- BRAAM, J. 2005. In touch: plant responses to mechanical stimuli. **New Phytologist** 165:373–389. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01263.x>. Acesso: 10 jan. 2024.
- BURKART, A. **Leguminosas Mimosoideas**. In: REITZ, R. (Ed.). Flora ilustrada catarinense. Parte I. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1979. p. 158-161.
- CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. de B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009. 50 p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos, 89).
- CHAUHAN, B. S.; JOHNSON, D. E. 2009. Germination, emergence, and dormancy of *Mimosa pudica*. **Weed Biology and Management** 9: 38-45.
- CULBERTSON, G. 1894. Some Notes on the Leguminosae of Siam. *Botanical Gazette*, 19:498-502.
- DUTRA, V. F.; GARCIA, F. C. P.; LIMA, H. C.; QUEIROZ, L. 2008. **Diversidade florística de leguminosae Adans, nos campos rupestres**. *Megadiversidade*, 4: 163-171.
- FAIRCHILD, D. G. 1902. **The sensitive plant is a weed in the tropics**. *Botanical Gazette*. 228-230.
- LESSARD, P. F.; PILLON, B. S.; LELOUP, C.; BONNEMAIN, J. (1997). **Distribution and Activity of the Plasma Membrane H<sup>+</sup>-ATPase in *Mimosa pudica* L.** in Relation to Ionic Fluxes and Leaf Movements. *Plant physiology*. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.3.747>.
- FROMM, J. L. S. **Electrical signals and their physiological significance in plants**. *Plant Cell Environ.* 2007 Mar;30(3):249-257. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x. PMID: 17263772.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 608 p.
- LOWE, S.; BROWNE, M.; BOUDJELAS, S.; POORTER, M. de. **100 of the world's worst invasive alien species**: a selection from the global invasive species database. World Conservation Union (IUCN), Auckland, New Zealand. 2000.
- MANCUSO, S. **Revolução das plantas**: um novo modelo para o futuro/ Stefano Mancuso; Traduzido por Regina Silva. – São Paulo: Ubu Editora, 2019./ Tradução de: *Plant Revolution: Le piante hanno già inventato il nostro futuro*. Disponível em: < <https://bit.ly/3yQaaLE> >. Acesso em: <15 mar.2022>.
- MENEZES, N. L.; SILVA, D. C.; PINNA, G. F. A. M. Folha. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Ed.). **Anatomia vegetal**. 3. Ed. Rev. e ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2012. p. 281-288. Disponível: [https://www.academia.edu/38593250/Appezzato\\_da\\_gloria\\_anatomia\\_vegetal\\_2c2aa\\_edic3a7c3a3o](https://www.academia.edu/38593250/Appezzato_da_gloria_anatomia_vegetal_2c2aa_edic3a7c3a3o).
- MOREIRA, H. J. da C.; BRAGANÇA, H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes** - Cultivos de Verão. Campinas - SP, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/12492345/Manual+de+Identifica%C3%A7%C3%A3o+de+Plantas+Infestant>

es+-+Cultivos+de+Ver%C3%A3o/2b542acc-89ef-4322-b495 188ca5b40564?version=1.0. Acesso em: 15 dez. 2023.

PAVLOVIC, A.; SLOVÁKOVÁ, L.; PANDOLFI, C.; MANCUSO, S. **On the mechanism underlying photosynthetic limitation upon trigger hair irritation in the carnivorous plant venus flytrap (*Dionaea muscipula* Ellis).** *Journals of Experimental Botany*, Oxford, v. 62, n. 6, p. 1991-2000, 2011.

POLHILL, R. M.; RAVEN, P. H.; STIRTON, C. H. (1981). **Evolution and systematics of the Leguminosae.** *In* Polhill RM, Raven PH (eds), *Advances in legume systematics*, part 1, Royal Botanic Gardens, Kew, pp 1–26.

SIMON, M. F.; PROENÇA, C. **Phytogeographic patterns of Mimosa (Mimosoidae, Leguminosae) in the Cerrado biome of Brazil: na indicator genus of high-altitude centers of endemism?** *Biological Conservation*, v. 96, p. 279-296, 2000.

VISNOVITZ, T.; VILÁGI, I.; VARRÓ, P.; KRISTÓF, Z. **Mechanoreceptor Cells on the Tertiary Pulvini of *Mimosa pudica* L.** *Plant Signal Behav.* 2007 Nov;2(6):462-6. DOI: 10.4161/psb.2.6.4743. PMID: 19517007; PMCID: PMC2634336.



# Cascas do maracujá: uma análise da situação socioeconômica, ambiental e biotecnológica desse resíduo agroindustrial

Rodrigo Felipe Santana de Souza

*Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil*

Jackeline Maria da Silva

*Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil*

Gilberto Henrique Teles

*Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil*

Ester Ribeiro

*Departamento de Antibióticos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil*

## RESUMO

Dentre os países produtores de maracujá, o Brasil se destaca por ser responsável por cerca de 70% de toda a produção mundial, produzindo aproximadamente 700 mil toneladas por ano. Entre as espécies cultivadas, que pertencem ao gênero *Passiflora*, destaca-se a produção da espécie *P. edulis*, que é popularmente conhecida como maracujá amarelo ou maracujá azedo. Uma vez que somente a polpa e as sementes do maracujá, ou seja 40% da fruta, constituem a parte comercialmente mais utilizada, as cascas, que representam cerca de 60% do peso, são subaproveitadas. Desse modo, boa parte dessas cascas são atualmente dispostas no lixo mesmo com a produção industrial da farinha do maracujá, o que acaba gerando um problema de natureza ambiental. Entre os constituintes dessas cascas, destaca-se a presença de fibras solúveis, ou seja, a pectina, que é o principal benefício nutricional encontrado na farinha de maracujá, além do material lignocelulósico, constituído de lignina, celulose e hemicelulose. Devido à presença desse material lignocelulósico em sua composição, pesquisas recentes mostram que a casca do maracujá pode também ser empregada na produção de etanol de segunda geração, trazendo, dessa forma, a possibilidade da produção de um subproduto importante e economicamente viável que pode trazer consigo mudanças benéficas para o futuro da matriz energética mundial. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo é evidenciar o subaproveitamento das cascas do maracujá, tendo em vista que a sua composição não as permite serem classificadas apenas como um mero resíduo agroindustrial sem valor econômico e nutricional.

**Palavras-chave:** cascas do maracujá; subprodutos; etanol de segunda geração; material lignocelulósico.



## ABSTRACT

Among the countries that produce passion fruit, Brazil stands out for being responsible for around 70% of all world production, producing approximately 700 thousand tons per year. Among the cultivated species, which belong to the genus *Passiflora*, the production of the species *P. edulis* stands out, which is popularly known as yellow passion fruit or sour passion fruit. Since only the pulp and seeds of the passion fruit, or 40% of the fruit, constitute the most commercially used part, the peels, which represent around 60% of the weight, are underused. Thus, a large part of these peels is currently disposed of in the trash even with the industrial production of passion fruit flour, which ends up generating an environmental problem. Among the constituents of these peels, the presence of soluble fibers stands out, that is, pectin, which is the main nutritional benefit found in passion fruit flour, in addition to lignocellulosic material, consisting of lignin, cellulose and hemicellulose. Due to the presence of this lignocellulosic material in its composition, recent research shows that passion fruit peels can also be used in the production of second-generation ethanol, thus bringing the possibility of producing an important and economically viable byproduct that can bring beneficial changes to the future of the world's energy matrix. In this sense, the aim of this study is to highlight the underuse of passion fruit peels, considering that their composition does not allow them to be classified as mere agro-industrial waste without economic and nutritional value.

**Keywords:** passion fruit shells; byproducts; second generation ethanol; lignocellulosic material.

## INTRODUÇÃO

O maracujá, fruta tropical pertencente ao gênero *Passiflora*, possui mais de 500 espécies distribuídas pelas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Costa *et al.*, 2021). Dentre os países produtores de maracujá, o Brasil se destaca por ser o maior produtor, representando cerca de 70% de toda a produção mundial (EMBRAPA, 2021). Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (IBGE), a produção nacional de maracujá em 2022 foi de 697.859 toneladas, estando os principais produtores localizados na região Nordeste do país, nos estados do Ceará e da Bahia (IBGE, 2022; Faleiro, 2022). Estima-se que 90% das áreas cultivadas com maracujá, no mundo, sejam ocupadas pela espécie *P. edulis*, comumente conhecida como maracujá amarelo ou maracujá azedo (Junqueira *et al.*, 2005; Junghans *et al.*, 2022).

Além do consumo in natura, o maracujá também é bastante utilizado para a produção de alguns subprodutos, como doces e bebidas (Silva, Pessoa e Veja, 2021). Entretanto, esses subprodutos são, em suma, provenientes da utilização apenas da polpa da fruta, que representa apenas um terço do peso total do maracujá. Considerando as demais proporções referentes ao que compõe o peso de um maracujá, tem-se que as sementes representam cerca de 6% do peso da fruta, ao passo que a casca representa cerca de 60% (Coelho, Cenci e Resende, 2011). Dessa forma, fica evidente que a casca do maracujá é a parte que representa o maior peso dessa fruta.

Nesse sentido, nota-se a existência de uma problemática: a parte comercialmente mais utilizada do maracujá representa, aproximadamente, apenas 40% da fruta, enquanto os outros 60% são usualmente descartados ou pouco utilizados. Apesar do descarte desse resíduo agroindustrial, já tem sido observado que a casca do maracujá contém holocelulose em sua composição (Megawati *et al.*, 2020). Ainda, a casca dessa fruta é rica em uma fibra solúvel denominada pectina (Clara, Rodrigues e Teixeira, 2018), que possui diversas aplicações na indústria alimentícia (Freitas *et al.*, 2020).

Diante do cenário exposto e levando em conta que a produção brasileira anual de maracujá é de aproximadamente 700 mil toneladas, calcula-se que, em média, 420 mil toneladas são somente das cascas de maracujá. Uma vez que cerca de 90% das cascas são descartadas, pode-se estimar que 378 mil toneladas de cascas de maracujá são anualmente descartadas ou são reaproveitadas em atividades de baixo valor comercial, como a produção de adubo, por exemplo (Alcântara *et al.*, 2012). Isso demonstra um grande desperdício de um recurso natural com características físico-químicas valiosas.

Portanto, o objetivo do desenvolvimento deste capítulo é demonstrar que a casca do maracujá é um resíduo agroindustrial que, apesar da sua baixa aplicabilidade atual, pode ser utilizada na produção de subprodutos de grande interesse comercial, tais como a farinha do maracujá (Silva, Pessoa e Vega, 2021) e o etanol de segunda geração (Megawati *et al.*, 2020).

## **PERSPECTIVA SOCIOECONÔMICA DO PRINCIPAL SUBPRODUTO ATUALMENTE OBTIDO PELAS CASCAS DO MARACUJÁ: A FARINHA DE MARACUJÁ**

Como mencionado anteriormente, a casca do maracujá é um resíduo agrícola que pode ser considerado como uma fonte rica em fibras solúveis que, no caso, trata-se da pectina (Clara, Rodrigues e Teixeira, 2018). Nesse sentido, a indústria passou a realizar investimentos na obtenção de um subproduto com o propósito de tornar possível o aproveitamento dessas fibras. Daí surgiu então a farinha do maracujá (Silva, Pessoa e Vega, 2021).

A farinha do maracujá é obtida pela maceração, secagem e posterior trituração da casca da fruta (Ishimoto *et al.*, 2007). Devido ao seu alto teor de fibras solúveis, essa farinha pode ser adicionada na produção de uma grande variedade de alimentos, como, por exemplo, na produção de biscoitos (Ishimoto *et al.*, 2007), o que trará melhorias na qualidade nutricional desses alimentos. Além disso, ela também pode ter um papel fundamental em dietas de indivíduos que precisam reduzir a glicemia sanguínea (Silva, Pessoa e Vega, 2021).

Analisando os principais e-commerce de produtos naturais, observa-se que o preço de um quilo dessa farinha varia em torno de R\$ 16,00 a R\$ 30,00. No entanto, é justamente a relação custo-benefício que torna o crescimento da sua produção um processo dispendioso (Neto, 2020).

Tendo em vista que o maior benefício do consumo da farinha do maracujá são as fibras solúveis presentes no produto, outros alimentos como leguminosas, frutas e verduras podem também suprir facilmente a carência dessas fibras com um custo de aquisição muito menor (Dall’Alba e Azevedo, 2010). Esse fato pode ser uma das explicações para o preço de venda atualmente praticado, o que pode culminar em uma baixa demanda pela farinha do maracujá (Chiavenato, 2012).

Uma vez que essa demanda é baixa, pela lei da oferta e da procura, haveria então, por consequência, um menor interesse por parte da indústria em expandir a produção da farinha do maracujá (Chiavenato, 2012). Esse cenário é refletido no preço praticado, já que, para que esse produto apresente um valor mais competitivo seria necessário, dentre outros fatores, que houvesse uma maior procura pelo produto ou que houvesse benefícios nutricionais obtidos exclusivamente pelo consumo desse produto. Desse modo, uma maior demanda estimularia a sua produção em larga escala e, conseqüentemente, aumentar-se-ia a oferta do produto, o que reduziria o preço praticado pelo mercado (Neto, 2020).

Diante das análises supracitadas, é perceptível que a farinha do maracujá é um subproduto da utilização da casca do maracujá de relevante interesse comercial, mas que possivelmente ainda não possui uma demanda grande o suficiente para suprir a enorme quantidade desse resíduo agrícola que é gerado anualmente.

## **PERSPECTIVA AMBIENTAL DO SUBAPROVEITAMENTO DAS CASCAS DO MARACUJÁ**

Levando em consideração toda a análise socioeconômica realizada, pode-se afirmar que: mesmo com a produção da farinha do maracujá, uma grande parte das cascas geradas não são devidamente aproveitadas. Dessa forma, com a ausência de subprodutos rentáveis em larga escala, essas cascas acabam sendo dispostas no lixo, gerando um problema ambiental que necessita ser mitigado ou solucionado (Alcântara *et al.*, 2012).

Uma vez que toneladas de cascas de maracujá são anualmente dispostas no lixo, é inevitável o surgimento de impactos ambientais. A casca do maracujá é formada, além de outros constituintes, de um material lignocelulósico, ou seja, constituída, principalmente, de lignina, celulose e hemicelulose (Megawati *et al.*, 2020). Esse material, por sua vez, é extremamente resistente a biodegradação por microrganismos e animais (Santiago e Rodrigues, 2017). Por isso, a disposição no lixo das cascas de maracujá tem a capacidade de acentuar a poluição do meio ambiente, tendo em vista que a degradação natural desse resíduo agroindustrial ocorre de maneira extremamente lenta.

Ponderando sobre essa dificuldade de biodegradação das cascas, dois caminhos possíveis para minimizar os impactos ambientais gerados por esse resíduo agrícola podem ser observados: (i) a realização de tratamentos adequados nesse resíduo a fim de facilitar a sua biodegradação (o que acabaria sendo um processo bastante oneroso), ou (ii) desenvolvimento de pesquisas que visam maneiras economicamente viáveis de reaproveitar as cascas do maracujá (Alcântara *et al.*, 2012).

Diante da problemática, percebe-se então que a alternativa mais viável tanto da perspectiva socioeconômica quanto da perspectiva ambiental é o desenvolvimento de pesquisas científicas que viabilizarão a produção de subprodutos biotecnológicos obtidos a partir da reutilização das cascas do maracujá.

## POSSÍVEIS APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS DAS CASCAS DO MARACUJÁ: O FUTURO DESSE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL

Atualmente, além da farinha do maracujá, um dos principais subprodutos estudados que é obtido pelo reaproveitamento de materiais lignocelulósicos é o etanol de segunda geração que difere do etanol de primeira geração justamente pela utilização de resíduos agrícolas em vez das matérias-primas tradicionais, como a cana-de-açúcar (Masson *et al.*, 2015).

Como mencionado anteriormente, uma vez que a casca do maracujá também possui material lignocelulósico em sua composição, pode-se inferir que essa casca também pode ser considerado um resíduo agrícola útil para a produção de etanol de segunda geração, bem como ocorre com a utilização da casca do arroz (Montipó, 2017), bagaço da laranja (Sant'anna, Tabai e Maldonado, 2019) e casca de pequi (Silva, 2013), por exemplo. Em um estudo recente, a farinha da casca do maracujá amarelo apresentou mais de 70% de celulose e hemicelulose na sua composição, bem como 13% desses carboidratos foram transformados em um resíduo adicional gerado após o processo de extração da pectina (Teles *et al.*, 2023).

O material lignocelulósico, mais precisamente a celulose, pode ser convertida em bioetanol após passar primeiramente por um processo de hidrólise, que quebra essa celulose em monômeros de glicose, e posteriormente pelo processo de fermentação, que se dá por intermédio da inserção de uma levedura, que geralmente é *Saccharomyces cerevisiae* (Megawati *et al.*, 2020).

Contudo, considerando que o bioetanol é visto como um combustível limpo quando comparado com a gasolina, faz-se necessária uma produção muito maior do que a que pode ser obtida utilizando apenas as cascas do maracujá para que o bioetanol possa, enfim, substituir o uso da gasolina e, assim, suprir toda a demanda necessária (Raboni, Viotti e Capodaglio, 2015). Ainda, a produção de biocombustível sustentável está entre os objetivos elencados no Acordo de Paris e na Agenda 30 da Organização das Nações Unidas.

Além disso, uma vez que a atual produção mundial do açúcar (CEPEA, 2024) e do arroz (Gomes, Wander e Gazzola, 2024), que são alimentos bastante consumidos mundialmente, é muito maior que a do maracujá, o processamento dos dois geram muito mais resíduos agrícolas que o do maracujá. Por isso, são materiais lignocelulósicos mais comumente utilizados para a produção do bioetanol do que o maracujá (Montipó, 2017; Sant'anna, Tabai e Maldonado, 2019).

Desse modo, com a realização de mais estudos envolvendo a produção do etanol de segunda geração utilizando as cascas do maracujá, esse resíduo agroindustrial poderá ser considerado como uma importante fonte de biomassa lignocelulósica que auxiliará no suprimento da demanda de produção do etanol de segunda geração (Megawati *et al.*, 2020).



Assim sendo, uma vez consolidada essa possibilidade de produção, poderá se vislumbrar um aumento na produção mundial do maracujá a longo prazo, visto que, possivelmente, as cascas também terão um grande valor comercial, sobretudo para a produção de bioetanol, um biocombustível que pode reduzir a emissão de gases poluentes e, conseqüentemente, trazer alinhamento ao desenvolvimento sustentável preconizado na Agenda 30 (Santos *et al.*, 2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de toda essa conjuntura, pode-se inferir que as cascas do maracujá são uma biomassa lignocelulósica subaproveitada. A disposição ao lixo de grande parte dessas cascas, além de ocasionar impactos ambientais, também está restringindo as possibilidades do desenvolvimento de um produto biotecnológico importante e economicamente viável que pode trazer grandes avanços para o futuro da matriz energética mundial.

Ademais, destaca-se a necessidade de mais estudos sobre a produção do etanol de segunda geração a partir da utilização das cascas do maracujá, a fim de consolidar as ideias expostas em estudos anteriores e, portanto, tornar possível a produção em larga escala desse combustível, em um futuro próximo.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, S. R. *et al.* **Caracterização físico-química das farinhas do pedúnculo do caju e da casca do maracujá.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.14, n. Especial, p.473-478, 2012.

CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), 2024. **Equidade na cana-de-açúcar: o caminho para um pagamento justo e sustentável.** Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opiniao-cepea/equidade-na-cana-de-acucar-o-caminho-para-um-pagamento-justo-e-sustentavel.aspx>>. Acesso em: 08 jul. 2024.

CHIAVENATO, Idalberto. **Princípios da administração: o essencial em teoria geral da administração.** 2a Ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

CLARA, M. L.; RODRIGUES, G. P.; TEIXEIRA, S. A. **Propriedades funcionais da casca do maracujá amarelo (Passiflora edulis) na síndrome metabólica.** Demetra, Teresina, v.13, n.1, p.181-194, 2018.

COELHO, A. A.; CENCI, S. A.; RESENDE, E. D. **Rendimento em suco e resíduos do maracujá em função do tamanho dos frutos em diferentes pontos de colheita para o armazenamento.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.13, n.1, p.55-63, 2011.

COSTA, Z. P. *et al.* **A genome sequence resource for the genus Passiflora, the genome of the wild diploid species Passiflora organensis.** The Plant Genome, v.14, n.3, p. 1-22, 2021.

DALL'ALBA, V.; AZEVEDO, M. J. **Papel das fibras alimentares sobre o controle glicêmico, perfil lipídico e pressão arterial em pacientes com diabetes melito tipo 2.** Revista HCPA, v. 30, n. 4, p. 363-371, 2010.

- EMBRAPA, 2021. **Maracujá**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/maracuja>>. Acesso em: 01 jul. 2024.
- EXAME. **O que é o Acordo de Paris e as metas do Brasil para redução de emissões**. Exame, 7 ago. 2023. Disponível em: <<https://exame.com/esferabrasil/o-que-e-o-acordo-de-paris-e-as-metas-do-brasil-para-reducao-de-emissoes/>>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- FALEIRO, F. G. **Maracujá fruta nativa do Brasil para o mundo**. Anuário HF 2022. Campo & Negócios, p. 79-81. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1152428/1/Maracuja-fruta-nativa-2022.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- FREITAS, C. M. P. *et al.* **Extraction of Pectin from Passion Fruit Peel**. Food Engineering Reviews, v.12, n.4, p. 460–472, 2020.
- GOMES, E. G.; WANDER, A. E.; GAZZOLA, R. **Mercado mundial de arroz: concentração, taxas de crescimento, projeções e índice de presença**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 62, n. 4, 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. **Produção de maracujá**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>>. Acesso em: 05 jul. 2024.
- ISHIMOTO, F. Y. *et al.* **Aproveitamento alternativo da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. var. *flavicarpa* Deg.) para produção de biscoitos**. Revista Ciências Exatas e Naturais, vol.9, nº 2, p.279-292, 2007.
- JUNGHANS, T. G. *et al.* **Espécies de maracujazeiro: uma riqueza do Brasil**. In: JUNGHANS, Tatiana Góes (Org.). *Embrapa Mandioca e Fruticultura*. 1ª Edição, Cruz das Almas, Bahia p. 203, 2022.
- JUNQUEIRA, N. T. V. *et al.* **Potencial de espécies silvestres de maracujazeiro como fonte de resistência a doenças**. Maracujá: germoplasma e melhoramento genético. Planaltina, Distrito Federal: Embrapa Cerrados, p. 81-108, 2005.
- MASSON, I. S. *et al.* **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar**. Ciência Rural, Santa Maria, v.45, n.9, p.1695-1700, 2015.
- MEGAWATI, A. D. *et al.* **Kinetics of Enzymatic Hydrolysis of Passion Fruit Peel using Cellulase in Bioethanol Production**. Reaktor, 20(1), p.10-17, 2020.
- MONTIPÓ, S. **Produção de etanol de segunda geração e de ácido láctico a partir da casca de arroz e do capim-elefante utilizando pré-tratamento a valor e hidrólise enzimática**. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Instituto de Biotecnologia da Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, p. 186. 2017.
- NETO, A. A. **Estrutura e análise de balanços: um enfoque econômico-financeiro**. 12a Ed. São Paulo: Atlas, 2020.
- RABONI, M.; VIOTTI, P.; CAPODAGLIO, A. G. **A comprehensive analysis of the current and future role of biofuels for transport in the European Union (EU)**. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 9-21, 2015.

SANT'ANNA, A. C. M.; TABAI, L.; MALDONADO, R. R. **Pré-tratamento ácido e básico de resíduos agroindustriais para obtenção de etanol de segunda geração.** Revista Hipótese, Itapetininga, v. 6, n.1, p. 211-226, 2019.

SANTIAGO, B.; RODRIGUES, F. **Processamento de biomassa lignocelulósica para produção de etanol: uma revisão.** The Journal of Engineering and Exact Sciences, v.3, n.7, p.1011-1022, 2017.

SANTOS, M. R. *et al.* **Objetivos de desenvolvimento sustentável e a cultura da cana-de-açúcar para produção de etanol.** Caderno de Administração, Maringá, v. 31, n. 2, p. 134-155, 2023.

SILVA, C. O.; PESSOA, L. B.; VEJA, W. R. C. **Resíduos de maracujá provenientes da indústria de alimentos para a produção de subprodutos: uma revisão de literatura.** In: VERRUCK, Silvani (Org.). *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Volume 5, Capítulo 27, Editora Científica Digital, p. 383-398, 2021.

SILVA, D. L. **Hidrólise ácida da farinha da casca de pequi (Caryocar brasiliense) visando à produção de bioetanol.** Dissertação (Mestrado em Agroenergia – Universidade Federal de Tocantins. Palmas, p. 61, 2013.

TELES, G. H.; DOS SANTOS, E. C.; DA SILVA, G. B.; DA SILVA, M. G. L.; DA SILVA, J. M.; DE MORAES ROCHA, G. J.; DE BARROS PITA, W.; RIBEIRO, E. **Full utilization of the yellow passion fruit peel: Chemical characterization and valorization to reduce biomass waste.** Industrial Crops and Products, v. 206, 2023.

## Mecanismo das células mesenquimais na reparação de tecidos articulares

### *Mechanism of mesenchymal stem cells in joint tissue repair*

**Aline Mendonça Martinelli**

*Graduanda do Curso de Biomedicina do Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas-FMU, Brasil*

**Messias Pacheco**

*Biomédico, Prof. MSc. do Curso de Biomedicina do Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas-FMU, Brasil*

#### RESUMO

O cenário dinâmico da biologia contemporânea tem visto as células-tronco emergirem como uma descoberta crucial, prometendo avanços significativos na medicina regenerativa. Dentro desse campo, as células-tronco embrionárias e as células-tronco adultas têm se destacado por sua capacidade de diferenciação em uma variedade de células especializadas e pela habilidade de autorrenovação. Enquanto as células-tronco embrionárias, provenientes de embriões, são pluripotentes e podem se diferenciar em qualquer tipo celular, as células-tronco adultas, também conhecidas como células mesenquimais, residem em tecidos maduros, mantendo capacidade de diferenciação, embora mais limitada. Dentre as células mesenquimais, as células-tronco mesenquimais (CTMs) têm ganhado destaque, demonstrando habilidades de autorrenovação e diferenciação em adipócitos, osteoblastos e condrócitos, e desempenhando um papel crucial na reparação de tecidos danificados e modulação de processos inflamatórios. Essas células têm sido amplamente estudadas em diversas áreas médicas, como ortopedia e neurologia, devido à sua versatilidade. Com foco na reparação de tecidos articulares, as CTMs têm sido objeto de pesquisa intensa, explorando sua capacidade de promover a regeneração da cartilagem e reduzir a inflamação crônica associada a condições como a osteoartrite. Esta revisão visa fornecer uma visão abrangente desses mecanismos, destacando a importância das CTMs na reparação de tecidos articulares e seu potencial impacto na qualidade de vida dos pacientes com distúrbios articulares.

**Palavras-chave:** células-tronco mesenquimais; medicina regenerativa; artropatias.



## ABSTRACT

The dynamic landscape of contemporary biology has witnessed stem cells emerge as a pivotal discovery, holding promise for substantial advancements in regenerative medicine. Within this realm, both embryonic and adult stem cells have garnered attention for their capacity to differentiate into a myriad of specialized cells and their inherent self-renewal capabilities. Embryonic stem cells, derived from embryos, exhibit pluripotency, enabling differentiation into any cellular lineage, whereas adult stem cells, also referred to as mesenchymal stem cells, reside within mature tissues, retaining differentiation potential albeit with limitations. Among the mesenchymal cell subset, mesenchymal stem cells (MSCs) have garnered prominence, showcasing self-renewal and differentiation prowess into adipocytes, osteoblasts, and chondrocytes, thereby playing a pivotal role in tissue repair and modulation of inflammatory cascades. These cells have been extensively scrutinized across various medical domains, including orthopedics and neurology, owing to their versatile nature. Focusing on tissue repair in articulations, MSCs have been subject to intensive investigation, elucidating their potential in promoting cartilage regeneration and mitigating chronic inflammation linked to conditions such as osteoarthritis. This review aims to provide a comprehensive insight into these mechanisms, underscoring the significance of MSCs in articular tissue repair and their potential impact on the quality of life of patients with joint disorders.

**Keywords:** mesenchymal stem cells; regenerative medicine; arthropathies.

## INTRODUÇÃO

No cenário dinâmico da biologia contemporânea, as células-tronco emergem como uma das descobertas mais intrigantes e promissoras, abrindo caminhos para avanços significativos na compreensão e aplicação da medicina regenerativa. Este campo de pesquisa tem revolucionado a abordagem terapêutica, oferecendo perspectivas inovadoras para o tratamento de doenças e lesões anteriormente consideradas intratáveis. Entre as diversas categorias de células-tronco, as células-tronco embrionárias e as células-tronco adultas destacam-se por sua capacidade única de diferenciação em uma variedade de células especializadas e pela notável habilidade de autorrenovação (Bianco; Robey; Simmons, 2008; Dominici; Le Blanc; Mueller; Slaper-Cortenbach *et al.*, 2006).

As células-tronco embrionárias, provenientes de embriões em estágios iniciais de desenvolvimento, apresentam-se como células pluripotentes com a capacidade extraordinária de se diferenciar em qualquer tipo celular presente no corpo humano. Em contrapartida, as células-tronco adultas, também denominadas células-tronco somáticas ou mesenquimais, residem em tecidos maduros, como a medula óssea, o tecido adiposo e o cordão umbilical. Essas células preservam a capacidade de diferenciação em diversos tipos celulares, embora com potencial mais restrito se comparadas às células-tronco embrionárias (Bianco; Robey; Simmons, 2008; Caplan, 2017; Trounson; McDonald, 2015).

Dentre as células-tronco adultas, as células mesenquimais, frequentemente referidas como células-tronco mesenquimais (CTMs), ganham destaque, evidenciando-se como atores-chave na medicina regenerativa. Estas células multipotentes exibem notável capacidade de autorrenovação e diferenciação em uma gama diversificada de tipos



celulares, incluindo adipócitos, osteoblastos e condrócitos (Purita; Lana; Kolber; Rodrigues *et al.*, 2020). As CTMs desempenham um papel crucial na reparação de tecidos danificados e na modulação de processos inflamatórios (Pittenger; Mackay; Beck; Jaiswal *et al.*, 1999; Uccelli; Moretta; Pistoia, 2008).

Além disso, as CTMs podem ser encontradas em diversos tecidos do organismo, com a medula óssea e o tecido adiposo despontando como fontes amplamente exploradas em aplicações clínicas. A versatilidade dessas células tem suscitado interesse em diversos campos, desde a ortopedia até a odontologia e a neurologia (Caplan, 2017; Dominici; Le Blanc; Mueller; Slaper-Cortenbach *et al.*, 2006; Trounson; McDonald, 2015).

Desde a identificação e isolamento das células-tronco, uma extensa gama de pesquisas tem se dedicado a explorar seu potencial na reparação de tecidos danificados e no tratamento de doenças debilitantes. Este campo promissor abrange diversas áreas, incluindo a terapia celular para lesões de tecidos articulares, tratamento de doenças neurodegenerativas, regeneração de órgãos, entre outros (Bianco; Robey; Simmons, 2008; Trounson; McDonald, 2015).

Este estudo científico tem como objetivo fornecer uma visão abrangente dos mecanismos das células mesenquimais na reparação de tecidos articulares, destacando sua capacidade de diferenciação, produção de fatores de crescimento, propriedades anti-inflamatórias e imunomoduladoras, bem como seu impacto na matriz extracelular e na modulação da resposta imune. O entendimento desses mecanismos é fundamental para o desenvolvimento de terapias inovadoras no campo da reparação de tecidos articulares e promete melhorar significativamente a qualidade de vida dos pacientes com distúrbios articulares.

## Métodos

A metodologia empregada nesta revisão bibliográfica aborda o mecanismo das células mesenquimais na reparação de tecidos articulares consistiu na análise de fontes das bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e PubMed. A seleção criteriosa dos estudos seguiu critérios de inclusão que envolviam a conformidade com o tema proposto, alcance dos objetivos, categorização como artigos de revisão bibliográfica ou de pesquisa experimental, publicação entre os anos de 1999 e 2023, e disponibilidade nos idiomas português e inglês. A delimitação temporal de 1999 a 2023 foi estabelecida para abranger a evolução das pesquisas, incorporando descobertas recentes e contextualizando o desenvolvimento do conhecimento. A inclusão de artigos em português e inglês objetivou abranger diversas fontes e perspectivas. Assim, esta abordagem metodológica buscou realizar uma análise abrangente e rigorosa dos estudos disponíveis, consolidando o entendimento sobre o papel das células mesenquimais na reparação de tecidos articulares ao longo do período de 1999 a 2023.

## DESENVOLVIMENTO

### Células-tronco

As células-tronco, uma das descobertas mais fascinantes da biologia contemporânea, têm revolucionado a compreensão e o potencial da medicina regenerativa. Elas são células únicas com a capacidade extraordinária de se transformar em vários tipos de células especializadas no corpo humano, sendo classificadas em dois principais grupos: células-tronco embrionárias e células-tronco adultas. Além disso, as células-tronco possuem a notável propriedade de se autorrenovar, permitindo uma fonte inesgotável de células para fins terapêuticos (Bianco; Robey; Simmons, 2008; Dominici; Le Blanc; Mueller; Slaper-Cortenbach *et al.*, 2006).

As células-tronco embrionárias são originárias de embriões em estágios iniciais de desenvolvimento e têm o potencial de se diferenciar em qualquer tipo celular presente no corpo humano. Por outro lado, as células-tronco adultas, também conhecidas como células-tronco somáticas ou mesenquimais, são encontradas em tecidos adultos, como a medula óssea, tecido adiposo e cordão umbilical. Essas células mantêm a capacidade de se diferenciar em uma variedade de tipos celulares, embora sejam mais restritas em seu potencial quando comparadas às células-tronco embrionárias (Bianco; Robey; Simmons, 2008; Caplan, 2007; 2017; Trounson; Mcdonald, 2015).

As células mesenquimais, frequentemente referidas como células-tronco mesenquimais (CTMs), emergiram como protagonistas nas áreas de terapia regenerativa e medicina regenerativa (Pittenger; Mackay; Beck; Jaiswal *et al.*, 1999). São células multipotentes, com grande capacidade de autorrenovação e diferenciação em diferentes tipos celulares, incluindo adipócitos, osteoblastos e condrócitos, desempenhando um papel fundamental na reparação de tecidos danificados e na modulação de processos inflamatórios (Pittenger; Mackay; Beck; Jaiswal *et al.*, 1999; Purita; Lana; Kolber; Rodrigues *et al.*, 2020; Uccelli; Moretta; Pistoia, 2008).

As CTMs podem ser encontradas em diversos tecidos do organismo, com a medula óssea e o tecido adiposo sendo as fontes mais estudadas e amplamente utilizadas em aplicações clínicas. Sua versatilidade e propriedades únicas têm despertado interesse em uma variedade de campos, desde a ortopedia até a odontologia e a neurologia (Caplan, 2017; Dominici; Le Blanc; Mueller; Slaper-Cortenbach *et al.*, 2006; Trounson; Mcdonald, 2015).

Desde que as células-tronco foram identificadas e isoladas, uma vasta gama de pesquisas tem se dedicado a explorar seu uso potencial na reparação de tecidos danificados e no tratamento de doenças debilitantes. Esse campo promissor abrange diversas áreas, incluindo a terapia celular para lesões de tecidos articulares, tratamento de doenças neurodegenerativas, regeneração de órgãos e muito mais (Bianco; Robey; Simmons, 2008; Trounson; Mcdonald, 2015).

## Danos Articulares

Os danos articulares representam um problema significativo em todo o mundo, afetando milhões de pessoas e tendo implicações profundas na qualidade de vida. As articulações são componentes essenciais do sistema musculoesquelético, permitindo movimentos fluidos e a execução de tarefas diárias (Cross; Smith; Hoy; Nolte *et al.*, 2014; Purita; Lana; Kolber; Rodrigues *et al.*, 2020). No entanto, uma variedade de fatores, como traumas, doenças degenerativas e condições inflamatórias, podem causar danos articulares. Dentre esses fatores, as lesões traumáticas são uma das principais causas de comprometimento articular, com a maior incidência observada em indivíduos mais jovens e ativos (Cross; Smith; Hoy; Nolte *et al.*, 2014; Murphy; Schwartz; Helmick; Renner *et al.*, 2008).

As lesões articulares podem ter consequências substanciais, incluindo dor crônica, perda de função, limitações nas atividades diárias e diminuição da qualidade de vida. Elas também podem levar ao desenvolvimento de condições debilitantes, como osteoartrite, uma das Artropatia mais prevalentes e incapacitantes em nível global. A osteoartrite resulta da degeneração progressiva da cartilagem articular e pode afetar qualquer articulação, embora seja mais comum em articulações de carga, como os joelhos e quadris (Cross; Smith; Hoy; Nolte *et al.*, 2014; Hunter; Bierma-Zeinstra, 2019; Murphy; Schwartz; Helmick; Renner *et al.*, 2008; Silverwood; Blagojevic-Bucknall; Jinks; Jordan *et al.*, 2015).

A compreensão dos tipos de danos articulares, suas causas, incidência e consequências é crucial para o desenvolvimento de estratégias de prevenção, diagnóstico e tratamento eficazes (Hunter; Bierma-Zeinstra, 2019).

## Transplante Autólogo

Os transplantes de órgãos e tecidos têm desempenhado um papel fundamental na medicina moderna, oferecendo a esperança de vida e qualidade de vida a muitos pacientes com doenças graves ou lesões irreparáveis. Existem diferentes tipos de transplantes, que variam em relação à origem do órgão ou tecido doador. Entre eles, o transplante autólogo se destaca como uma abordagem terapêutica única e relevante (Lan; Luo; Wei, 2021).

Os transplantes autólogos envolvem a transferência de tecidos ou células de um indivíduo para si mesmo. Essa modalidade de transplante tem ganhado atenção crescente devido à sua capacidade de contornar preocupações relacionadas à rejeição e à incompatibilidade imunológica, uma vez que o doador e o receptor são a mesma pessoa. As principais aplicações dos transplantes autólogos incluem a terapia de doenças hematológicas, como leucemias e linfomas, bem como a regeneração de tecidos e órgãos específicos, como a pele e o osso (Gaur; Dobke; Lunyak, 2017; Lan; Luo; Wei, 2021).

## Reparação de Tecidos Articulares

A reparação de tecidos articulares é um desafio constante na área da medicina regenerativa e ortopedia, dada a complexidade e especificidade dessas estruturas anatômicas. As articulações são compostas por uma variedade de tecidos, incluindo cartilagem, osso, sinovial e tecido conectivo, e qualquer lesão ou degeneração nesses tecidos pode

levar a disfunções articulares incapacitantes. Entre as diferentes abordagens para a reparação de tecidos articulares, as células mesenquimais emergem como uma estratégia promissora devido às suas propriedades regenerativas e imunomoduladoras (Caplan, 2007; Dominici; Le Blanc; Mueller; Slaper-Cortenbach *et al.*, 2006).

O termo "células mesenquimais" refere-se a uma população heterogênea de células-tronco multipotentes encontradas em vários tecidos do organismo, incluindo a medula óssea, tecido adiposo e o estroma do cordão umbilical. Essas células têm a capacidade de se diferenciar em uma variedade de tipos celulares, incluindo condrócitos, osteoblastos e adipócitos (Purita; Lana; Kolber; Rodrigues *et al.*, 2020). Além disso, as células mesenquimais têm propriedades anti-inflamatórias e imunomoduladoras que podem ser benéficas no contexto de Artropatia, nas quais a inflamação desempenha um papel central (Caplan, 2017; Pittenger; Mackay; Beck; Jaiswal *et al.*, 1999).

A regeneração de tecidos articulares envolve uma série de processos complexos, incluindo a reconstrução da cartilagem articular, a redução da inflamação crônica e a modulação da resposta imunológica. As células mesenquimais demonstraram a capacidade de promover esses processos de várias maneiras. Eles podem se diferenciar em condrócitos, as células da cartilagem, contribuindo para a restauração da cartilagem articular. Além disso, essas células secretam uma variedade de fatores de crescimento, como o fator de crescimento transformador beta (TGF- $\beta$ ) (Purita; Lana; Kolber; Rodrigues *et al.*, 2020) e o fator de crescimento de fibroblastos (FGF), que desempenham um papel na reparação e regeneração de tecidos articulares. Além disso, as propriedades anti-inflamatórias e imunomoduladoras das células mesenquimais são cruciais para atenuar a inflamação crônica associada a condições como osteoartrite e artrite reumatoide (Caplan, 2007; Loeser; Goldring; Scanzello; Goldring, 2012).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, a terapia com células mesenquimais oferece uma perspectiva promissora para melhorar a qualidade de vida dos pacientes com distúrbios articulares. Ao promover a regeneração da cartilagem, reduzir a inflamação crônica e modular a resposta imunológica, as células mesenquimais têm o potencial de proporcionar alívio dos sintomas, retardar a progressão da doença e até mesmo evitar a necessidade de intervenções cirúrgicas invasivas. Além disso, sua capacidade de serem autólogas minimiza os riscos de rejeição e incompatibilidade imunológica, tornando-as uma opção terapêutica segura e eficaz. Portanto, a incorporação dessas terapias inovadoras na prática clínica tem o potencial de transformar significativamente o manejo dos distúrbios articulares, oferecendo aos pacientes uma melhor qualidade de vida e a esperança de um futuro mais saudável e ativo.

## REFERÊNCIAS

BIANCO, P.; ROBEY, P. G.; SIMMONS, P. J. **Mesenchymal stem cells: revisiting history, concepts, and assays**. *Cell Stem Cell*, v. 2, n. 4, p. 313-9, 2008.

CAPLAN, A. I. **Adult mesenchymal stem cells for tissue engineering versus regenerative medicine**. *J Cell Physiol*, v. 213, n. 2, p. 341-7, 2007.

CAPLAN, A. I. **Mesenchymal Stem Cells: Time to Change the Name!** Stem Cells Transl Med, v. 6, n. 6, p. 1445-51, 2017.

CROSS, M. *et al.* **The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study.** Ann Rheum Dis, v. 73, n. 7, p. 1323-30, 2014.

DOMINICI, M. *et al.* **Minimal criteria for defining multipotent mesenchymal stromal cells.** The International Society for Cellular Therapy position statement. Cytotherapy, v. 8, n. 4, p. 315-7, 2006.

GAUR, M.; DOBKE, M.; LUNYAK, V. V. **Mesenchymal Stem Cells from Adipose Tissue in Clinical Applications for Dermatological Indications and Skin Aging.** Int J Mol Sci, v. 18, n. 1, 2017.

HUNTER, D. J.; BIERMA-ZEINSTRA, S. **Osteoarthritis.** Lancet, v. 393, n. 10182, p. 1745-59, 2019.

LAN, T.; LUO, M.; WEI, X. **Mesenchymal stem/stromal cells in cancer therapy.** J Hematol Oncol, v. 14, n. 1, p. 195, 2021.

LOESER, R. F. *et al.* **Osteoarthritis: a disease of the joint as an organ.** Arthritis Rheum, v. 64, n. 6, p. 1697-707, 2012.

MURPHY, L. *et al.* **Lifetime risk of symptomatic knee osteoarthritis.** Arthritis Rheum, v. 59, n. 9, p. 1207-13, 2008.

PITTENGER, M. F. *et al.* **Multilineage potential of adult human mesenchymal stem cells.** Science, v. 284, n. 5411, p. 143-7, 1999.

PURITA, J. *et al.* **Bone marrow-derived products: A classification proposal - bone marrow aspirate, bone marrow aspirate concentrate or hybrid?** World J Stem Cells, v. 12, n. 4, p. 241-50, 2020.

SILVERWOOD, V. *et al.* **Current evidence on risk factors for knee osteoarthritis in older adults: a systematic review and meta-analysis.** Osteoarthritis Cartilage, v. 23, n. 4, p. 507-15, 2015.

TROUNSON, A.; MCDONALD, C. **Stem Cell Therapies in Clinical Trials: Progress and Challenges.** Cell Stem Cell, v. 17, n. 1, p. 11-22, 2015.

UCCELLI, A.; MORETTA, L.; PISTOIA, V. **Mesenchymal stem cells in health and disease.** Nat Rev. Immunol, v. 8, n. 9, p. 726-36, 2008.



# Otimização de sistemas de aeração em estações de tratamento de efluentes: avaliação de aeradores de baixa potência com soprador de ar

## *Optimization of aeration systems in wastewater treatment plants: evaluation of low-power aerators with air blower*

**Alessandro Fernandes Barros**

*M. Sc. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção; Universidade Federal do ABC. Alameda da Universidade*

**Carlos Manuel Garate Cabezas**

*Eng. Diretor Técnico, Alfamec Soluções Ambientais, São Paulo, Brasil*

### RESUMO

Este estudo investigou a eficácia da modificação de aeradores de baixa potência por meio da adição de um soprador de ar, com o objetivo de aumentar a eficiência de oxigenação em sistemas de tratamento de efluentes. A pesquisa foi conduzida em duas fases: inicialmente, testes laboratoriais foram realizados utilizando um tanque específico para avaliar o impacto da modificação no volume de ar introduzido no sistema. Os resultados mostraram um aumento significativo de 9,48 vezes no volume de ar, comparado à configuração original dos aeradores, comprovando a eficácia da modificação. Posteriormente, testes em campo foram realizados em estações de tratamento de esgoto, onde a configuração modificada não só manteve os níveis de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD) dentro dos padrões regulatórios, mas também proporcionou uma significativa eficiência energética. Este estudo sugere que a modificação dos aeradores pode ser uma solução eficaz para otimizar o consumo energético e melhorar o desempenho dos sistemas de tratamento de efluentes, com potencial para reduzir custos operacionais e contribuir para a sustentabilidade ambiental. São recomendados estudos adicionais para confirmar a eficácia a longo prazo em diferentes contextos operacionais.

**Palavras-chave:** aeradores; tratamento de efluentes; eficiência energética; soprador de ar.



## ABSTRACT

This study investigated the effectiveness of modifying low-power aerators by adding an air blower to enhance oxygenation efficiency in wastewater treatment systems. The research was conducted in two phases: first, laboratory tests were carried out using a specific tank to evaluate the impact of the modification on the volume of air introduced into the system. The results showed a significant increase of 9,48 times in air volume compared to the original aerator configuration, confirming the effectiveness of the modification. Subsequently, field tests were conducted at wastewater treatment plants, where the modified configuration not only maintained Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Dissolved Oxygen (DO) levels within regulatory standards but also provided significant energy efficiency. This study suggests that modifying aerators could be an effective solution for optimizing energy consumption and improving the performance of wastewater treatment systems, with potential for reducing operational costs and contributing to environmental sustainability. Further studies are recommended to confirm the long-term effectiveness in different operational contexts.

**Keywords:** aerators; wastewater treatment; energy efficiency; air blower.

## INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes é uma etapa essencial para garantir a qualidade da água e a sustentabilidade ambiental. A busca por tecnologias que otimizem esse processo é um desafio constante. Os aeradores desempenham um papel crucial na oxigenação de efluentes em estações de tratamento, processo essencial para a oxidação da matéria orgânica, medida pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). No entanto, a eficiência desses aeradores pode variar significativamente dependendo do modelo e da configuração utilizada, tornando essencial a investigação de alternativas que possam melhorar o desempenho desses equipamentos.

A oxigenação adequada dos efluentes é fundamental para a eficiência dos processos biológicos em estações de tratamento, particularmente na remoção de carga orgânica representada pela DBO e na manutenção de níveis adequados de oxigênio dissolvido (OD). Estudos recentes têm investigado melhorias nos sistemas de aeração, seja pela modificação dos aeradores existentes ou pela adição de novos componentes que possam incrementar a introdução de ar nos reatores de tratamento (Piotrowski; Ujazdowski, 2020; Hasan *et al.*, 2020). A adoção de turbinas micro-hídricas nos tanques de aeração, por exemplo, pode resultar em economias significativas de energia e redução nas emissões de CO<sub>2</sub> (Kujawiak; Makowska, 2022).

Além disso, modelos dinâmicos de controle de sistemas de aeração têm se mostrado promissores em termos de economia de energia, um dos principais consumidores de energia em plantas de tratamento de esgoto (Zhang *et al.*, 2021). Modificações no design de aeradores convencionais, como a adição de componentes que aumentem a superfície de contato para fixação de biofilmes, também demonstraram uma redução significativa na concentração de DBO (Modi; Nath, 2024).

Diante desse cenário, o presente estudo busca avaliar a eficácia de uma modificação em aeradores de baixa potência, com a adição de um soprador de ar, no aumento do volume de ar introduzido e, conseqüentemente, na melhoria dos processos de tratamento de efluentes. A proposta é baseada em testes laboratoriais e em campo, onde se compara a configuração original dos aeradores com a configuração modificada, visando não apenas o aumento da eficiência de oxigenação, mas também a potencial redução do consumo energético associado ao tratamento (Pöyry *et al.*, 2021; Ding *et al.*, 2023).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Local do Experimento

O experimento será conduzido no laboratório da Alfamec Soluções Ambientais, localizado em Ribeirão Pires, São Paulo, Brasil. Será utilizado um tanque com diâmetro de 4,5 metros e profundidade de 3,3 metros para a realização dos testes.

Aerador modelo Alfa Plus 2CV e um aerador modelo Alfa Plus 3CV para o experimento. Estes aeradores são equipados com um motor de 2CV ou 3CV, projetados para operarem sobre uma boia na superfície do efluente. Os aeradores são compostos por um eixo vazado vertical, no qual uma hélice na parte inferior cria um vácuo no efluente, permitindo a entrada de ar pela parte superior do eixo vazado, acima da superfície do efluente. O ar é então dispersado no efluente, introduzindo oxigênio por meio da sucção gerada pela hélice.

### Soprador de ar com motor de 0,5 CV

Campânula cilíndrica de Vedação: será utilizada uma peça sob medida feita em fibra de vidro com a capacidade de vedar a parte superior da boia do aerador e uma entrada de ar com dimensões projetadas para que seja feita a medição da velocidade do ar sem o soprador de ar e que posteriormente seja possível conectar o soprador de ar.

### Equipamentos de Medição

Anemômetro (Medidor de Fluxo de Ar): Será usado para medir o fluxo de ar introduzido no sistema, permitindo comparações quantitativas entre os sistemas.

Medidor de Oxigênio Dissolvido (OD): Utilizado para medir a quantidade de oxigênio dissolvido na água ao longo do tempo, avaliando a eficiência da introdução de oxigênio pelos aeradores.

### Testes em Laboratório

Efluente Utilizado será utilizada água tratada no tanque de 4,5 metros de diâmetro e 3,3 metros de profundidade.

Campânula cilíndrica de Vedação será instalada na parte superior da boia do aerador modelo Alfa Plus 2CV. Para garantir que a junção da parte inferior da campânula cilíndrica de vedação e a parte superior da boia do Aerador de 2CV seja totalmente vedada será instalada uma espuma de vedação e fixada com fitas próprias para este fim.

O Aerador Alfa Plus 2CV com a Campanula cilíndrica de vedação será colocado no tanque com a água tratada. Inicialmente, serão realizados três testes com o aerador Alfa Plus 2CV, as medições serão realizadas com 15, 30 e 45 minutos a partir do momento que ligar o aerador Alfa Plus 2 CV. A medição da velocidade de entrada do ar no sistema será feita, posicionando o Anemômetro no flange da campânula cilíndrica de Vedação, e o volume de Ar introduzido será calculado levando em consideração a medição de velocidade do ar demonstrada no Anemômetro, a área de abertura do flange da Campanula Cilíndrica de vedação.

Em seguida o soprador de ar será instalado na Campânula cilíndrica de vedação, a vedação entre os dois equipamentos será garantida através de uma junta de borracha. A fixação do flange do soprador de ar e a flange da Campânula cilíndrica de Vedação será feita por parafusos e porcas. Para esta nova configuração a potência instalada será de 2,5 CV, sendo 2 CV do motor do aerador e 0,5 CV do motor do soprador de ar. Os testes serão conduzidos da mesma forma que o anterior, porém as medições da velocidade de entrada de ar serão tomadas na entrada de ar do Soprador de Ar, levando em consideração agora a medição de velocidade da entrada do Ar, a área da entrada de Ar do Soprador de Ar.

As medições do volume de ar introduzido nas duas configurações serão inseridas em duas tabelas, nestas mesmas tabelas será feita a média dos dados que para serem comparados. Esta comparação será realizada para verificar se a introdução de volume de ar pelo soprador aumenta o volume de entrada de ar no sistema. Caso os resultados sejam positivos, o aerador com a configuração de 2,5 CV será testado em campo, em efluentes reais, para verificar se há melhoria na oxidação da DBO e oxigênio dissolvido.

## Testes em Campo

Os testes serão realizados em equipamentos instalados pela empresa Alfamec Soluções Ambientais.

Teste 1: Hotel Tauá – na cidade de Atibaia, São Paulo. A estação de tratamento em questão conta com 4 reatores de aeração de 5,5 metros de diâmetro por 2,5 metros de altura em uma Estação de Tratamento de Esgoto, por Lodos Ativados e aeração prolongada. Cada tanque está equipado com um aerador Alfa Plus 7,5 CV na sua configuração original.

Teste 2: Inbra Blindados – na cidade de Mauá, São Paulo. A estação de tratamento em questão conta com 1 reator de aeração de 3,0 metros de diâmetro por 2,3 metros de altura em uma Estação de Tratamento de Esgoto, por Lodos Ativados e Aeração prolongada. O tanque está equipado com um aerador Alfa Plus 5 CV na sua configuração original

Teste 3: Santa Clara Ecoresort – na cidade de Dourados, Paraná. A estação de tratamento em questão conta com 2 reatores de aeração de 5,0 metros de diâmetro por 2,1 metros de altura em uma Estação de Tratamento de Esgoto, por Lodos Ativados e Aeração prolongada. Cada tanque está equipado com um aerador Alfa Plus 5 CV na sua configuração original

Serão retiradas amostras de 3 pontos de coletas (superfície, altura da hélice do aerador e ao fundo do reator) para medir os efeitos da oxigenação e quanto é absorvido de OD pelo meio líquido durante a aeração, a cada amostra coletada sobrepõe o oxímetro

digital mergulhado até o ponto indicado do sensor, agita-se lentamente a amostra e faz a leitura após 5 minutos (tempo de estabilização do sensor). Repete-se esse procedimento durante 3 vezes por ponto amostrado, totalizando 9 medições.

Na sequência, espera-se a continuidade do ciclo biológico ajustado, que compreende o processo de alimentação + aeração, apenas aeração, sedimentação e descarte de clarificado e será recolhida uma amostra do tratado e preservando a baixa temperatura de até 4 ° C para determinação da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e outro frasco será utilizado para coletar a amostra para análise de DQO (Demanda Química de Oxigênio).

Os mesmos procedimentos de medições serão realizados nos aeradores originais do equipamento e do aerador de 2,5 CV ou 3,5 CV compostos dos aeradores de 2CV ou 3CV, com a inclusão do soprador de 0,5CV.

Serão considerados como dados de entrada, para cada caso, os parâmetros de potência dos aeradores originais de cada equipamento. Estes mesmos dados serão utilizados para os aeradores de 2,5CV ou 3,5CV conforme tabela. Os dados de saída serão comparados com o padrão de emissão, CETESB art. 18, CONAMA 430 de 2011, art. 21.

Hotel Taua

DBO 737 mg/l. Potência do aerador MASTER, 7,5 CV.

DBO 737 mg/l. Potência do aerador com soprador 3,5 CV

Inbra Blindados

DBO 985 mg/l. Potência do aerador MASTER, 5 CV.

DBO 985 mg/l. Potência do aerador com soprador 2,5 CV

Santa Clara Ecoresort

DBO 2017 mg/l. Potência do aerador MASTER, 5 CV.

DBO 2017 mg/l. Potência do aerador com soprador 2,5 CV

## RESULTADOS

### Testes em Laboratório

Foi utilizada água tratada em um tanque de 4,5 metros de diâmetro e 3,3 metros de profundidade.

Configuração 1: Aerador Alfa Plus 2CV com Campânula Cilíndrica de Vedação

Três testes foram realizados com o aerador Alfa Plus 2CV.

A medição da velocidade de entrada do ar no sistema foi realizada posicionando o anemômetro no flange da campânula cilíndrica de vedação.

O volume de ar introduzido foi calculado considerando a medição da velocidade do ar demonstrada no anemômetro e a área de abertura do flange da campânula cilíndrica de vedação.



### Configuração 2: Aerador Alfa Plus 2CV com Soprador de Ar de 0,5CV

O soprador de ar foi instalado na campânula cilíndrica de vedação, garantindo a vedação através de uma junta de borracha e fixação com parafusos e porcas.

A potência instalada foi de 2,5 CV (2 CV do motor do aerador e 0,5 CV do motor do soprador de ar).

Os testes foram conduzidos da mesma forma que na configuração anterior, com medições da velocidade de entrada de ar na entrada do soprador de ar.

O volume de ar introduzido foi calculado considerando a medição da velocidade da entrada do ar e a área da entrada de ar do soprador de ar.

## Resultados dos Testes em laboratório

### Comparação dos Volumes de Ar Introduzidos

Resultados das medições do Aerador Alfa Plus 2 CV.

Tabela 1

Configuração	Velocidade do Ar (m/s)	Área da Abertura (m <sup>2</sup> )	Volume de Ar Introduzido (m <sup>3</sup> /h)
15 min	0,90	0,01183	38,32
30 min	0,90	0,01183	38,32
45 min	0,70	0,01183	29,81
Média 2 CV	0,833	0,01183	35,48

Fonte: autor.

Resultados das medições do Aerador Alfa Plus 2,5 CV (2 CV do motor do aerador e 0,5 CV do motor do soprador de ar)

Tabela 2

Configuração	Velocidade do Ar (m/s)	Área da Abertura (m <sup>2</sup> )	Volume de Ar Introduzido (m <sup>3</sup> /h)
15 min	8,80	0,01208	382,58
30 min	7,10	0,01208	308,67
45 min	7,30	0,01208	316,36
Média 2,5 CV	7,73	0,01208	336,20

## Discussão do Resultado do teste em laboratório

### Relação de Aumento entre as Duas Condições

Média do Volume de Ar Introduzido - Configuração 1 (2CV): 35,48 m<sup>3</sup>/h

Média do Volume de Ar Introduzido - Configuração 2 (2,5CV): 336,20 m<sup>3</sup>/h

A relação de aumento entre as duas configurações é calculada como:

Relação de Aumento = (volume de Ar configuração 2 / volume de Ar configuração 1)

Relação de Aumento = (336,28 / 35,48) ~ 9,48

A configuração com o soprador de ar de 0,5CV apresentou um aumento significativo no volume de ar introduzido no sistema. O aumento foi de aproximadamente 9,48 vezes

em comparação com a configuração original. Este aumento é crucial para a melhoria da eficiência do tratamento de efluentes, pois proporciona uma maior quantidade de oxigênio disponível para a oxidação da DBO e para a manutenção dos níveis de oxigênio dissolvido no efluente tratado.

Os testes laboratoriais confirmam que a configuração modificada do aerador Alfa Plus, com a adição de um soprador de ar de 0,5CV, resulta em um aumento significativo no volume de ar introduzido no sistema, sendo cerca de 9,28 vezes maior que a configuração original. Esta configuração deve ser considerada para implementação em campo para melhorar a eficácia do tratamento de efluentes, resultando em um tratamento mais eficiente e em conformidade com os parâmetros ambientais.

## Testes em Campo

Comparação entre os aeradores originais dos equipamentos e os aeradores de 2,5CV e 3,5CV (composto por um aerador de 2CV ou 3CV e um soprador de 0,5CV).

Os níveis de oxigênio dissolvido foram medidos para determinar a eficácia do processo de aeração.

Amostras compostas foram coletadas na entrada e na saída da estação de tratamento para medir a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5).

A Comparação entre os aeradores originais dos equipamentos e o aerador de 2,5CV (composto por um aerador de 2CV ou 3CV e um soprador de 0,5CV) foram comparados com o padrão de emissão, CETESB art. 18, CONAMA 430 de 2011, art. 21.

## Resultado dos testes em campo

A comparação dos resultados das medições realizadas nos testes em campo entre os aeradores originais dos equipamentos e os aeradores de 2,5CV e 3,5CV (composto por um aerador de 2CV e 3CV e um soprador de 0,5CV) foram positivas no atendimento do padrão de emissão, CETESB art. 18, CONAMA 430 de 2011, art. 21.

## Discussão do Resultado do teste em campo

Os testes demonstraram que, apesar da redução significativa na potência dos aeradores utilizados, os níveis de oxigênio dissolvido (OD) e os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5) permaneceram dentro dos limites aceitáveis conforme as normas estabelecidas pela CETESB (art. 18) e CONAMA 430 de 2011 (art. 21). Este resultado é notável, pois indica que a introdução do soprador de 0,5CV foi eficaz para compensar a redução da potência dos aeradores principais.

A eficiência energética é um dos aspectos mais críticos na operação de estações de tratamento de esgoto, especialmente em sistemas de aeração prolongada. O fato de que os aeradores de menor potência, com a adição do soprador, conseguiram cumprir a necessidade de demanda de oxigênio com uma potência total reduzida, sugere que a tecnologia aplicada é não apenas funcional, mas também otimiza o consumo de energia. Isso pode resultar em uma redução significativa nos custos operacionais sem comprometer a qualidade do tratamento.

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a modificação dos aeradores de baixa potência com a adição de um soprador de ar resultou em um aumento significativo no volume de ar introduzido nos sistemas de tratamento de efluentes. Esta modificação mostrou-se eficaz tanto em condições laboratoriais quanto em campo, com um aumento médio de 9,48 vezes no volume de ar introduzido na configuração modificada em comparação com a configuração original. Esse aumento é particularmente relevante no contexto de estações de tratamento de esgoto, onde a oxigenação eficiente é crucial para a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a manutenção de níveis adequados de oxigênio dissolvido (OD).

Comparando com estudos anteriores, a eficiência do aumento na oxigenação é consistente com pesquisas que destacam a importância da otimização dos sistemas de aeração para melhorar a eficiência do tratamento de efluentes. Piotrowski e Ujazdowski (2020) discutem a importância de modelos de controle em sistemas de aeração para otimizar o consumo de energia, e o presente estudo complementa essa visão ao demonstrar que modificações simples, como a adição de um soprador de ar, podem ter um impacto significativo na eficiência do sistema.

Além disso, os testes de campo realizados em diferentes estações de tratamento de esgoto, como no Hotel Tauá, na Inbra Blindados e na Santa Clara Ecoresort, confirmaram que a configuração modificada não apenas manteve os níveis de OD e DBO dentro dos padrões exigidos pelas normas ambientais, como também possibilitou a redução da potência instalada sem comprometer a eficiência do tratamento. Isso está alinhado com as descobertas de Pöyry *et al.* (2021), que sugerem que otimizações nos processos de aeração podem levar a economias substanciais de energia, o que é fundamental para a sustentabilidade das operações de tratamento de esgoto.

No entanto, é importante reconhecer as limitações deste estudo. A generalização dos resultados para outras configurações de aeradores e diferentes tipos de efluentes pode ser limitada, uma vez que os testes foram realizados em condições específicas. Além disso, embora os resultados de laboratório e de campo sejam promissores, estudos adicionais são necessários para avaliar o desempenho a longo prazo dos sistemas modificados em diferentes condições operacionais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a adição de um soprador de ar a aeradores de baixa potência resulta em um aumento significativo na eficiência de introdução de ar nos sistemas de tratamento de efluentes. Esta modificação não só aumentou o volume de ar introduzido, como também manteve os parâmetros de qualidade do efluente tratados dentro dos padrões regulatórios, mesmo com uma redução na potência total instalada.

Esses achados sugerem que a adoção dessa modificação pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a eficiência energética em estações de tratamento de esgoto, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a redução dos custos de implementação.

No entanto, são recomendadas investigações adicionais para validar esses resultados em diferentes contextos e avaliar o desempenho a longo prazo dos sistemas modificados.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.; COSTA, M. **Melhorias em sistemas de aeração de baixa potência para tratamento de efluentes**. \*Journal of Environmental Engineering\*, v. 147, n. 7, p. 1-10, 2021. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001923](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001923)>. Acesso em: 14 ago. 2024.

DING, W.; LIU, Z.; WANG, X. **Overview of Energy-Saving and Consumption-Reducing Techniques for Petrochemical Wastewater Treatment**. \*Chinese Control Conference\*, 2023. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.23919/CCC58697.2023.10240337>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

HASAN, A.; SALEM, A. R.; ABDELHADI, A. I.; QANDIL, M.; AMANO, R.; ALKHALIDI, A. **The Power Reclamation of Utilizing Micro-Hydro Turbines in the Aeration Basins of Wastewater Treatment Plants**. \*Journal of Energy Resources Technology\*, v. 142, n. 10, p. 1-8, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1115/1.4048869>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

KUJAWIAK, S.; MAKOWSKA, M. **Wastewater treatment in a hybrid barbotage reactor with continuous aeration**. \*Desalination and Water Treatment\*, 2022. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.5004/dwt.2022.28579>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

MODI, K. K.; NATH, K. K. **Modification and Performance of a Rotating Biological Contactor for the Rectification of Synthetic Auramine O dye Wastewater**. \*Current World Environment\*, v. 18, n. 3, p. 1-10, 2024. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.12944/cwe.18.3.15>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

PIOTROWSKI, R.; UJAZDOWSKI, T. **Model of Aeration System at Biological Wastewater Treatment Plant for Control Design Purposes**. \*Lecture Notes in Electrical Engineering\*, v. 654, p. 1-12, 2020. Disponível em: <[https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-50936-1\\_30](https://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-50936-1_30)>. Acesso em: 14 ago. 2024.

PÖYRY, L.; UKKONEN, P.; MULAS, M.; MIKOLA, A. **Modelling solution for estimating aeration energy of wastewater treatment plants**. \*Water Science & Technology\*, v. 84, n. 12, p. 3941-3950, 2021. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.2166/wst.2021.481>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

ZHANG, J.; SHAO, Y.; HONGCHEN, W.; LIU, G.-H.; LU, Q.; SUN, W.; JIANG, Z.-H.; ZHANG, J. **Study on the Balance of Oxygen in Supply and Demand in Wastewater Treatment Plant**. \*Research Square\*, 2021. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-834605/v1>>. Acesso em: 14 ago. 2024.

## AGRADECIMENTOS

O autor gostaria de expressar seu profundo agradecimento à Alfamec Soluções Ambientais pelo apoio técnico e pelo fornecimento dos equipamentos utilizados nesta pesquisa. O suporte e a colaboração da equipe da Alfamec foram essenciais para a realização dos experimentos e para o sucesso deste estudo.

## Apreciação do artigo governança ambiental e economia verde

**João Carlos Carneiro Barbosa**

*Mestrando em Ciências Jurídicas pela Veni Creator University*

**Henrique Rodrigues Leis**

*Doutor em Gestão do Conhecimento e Sistema de Informação pela Universidade FUMEC, Professor da Disciplina Sustentabilidade Socioambiental do Desenvolvimento da Veni Creator University*

### RESUMO

Esta resenha crítica teve como objetivo principal o de apresentar aos leitores um pensamento no sentido de debater que tipo de sustentabilidade está acompanhando a economia verde, bem como o que deve ser prioritário na discussão de governança ambiental. Para tanto, propôs-se a elaborar uma análise do artigo científico intitulado Governança Ambiental e Economia Verde escrito pelos autores Pedro Roberto Jacobi e Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli, publicado na Revista Ciência & Saúde Coletiva em 04 de maio de 2012. O estudo aborda os temas de governança ambiental e economia verde a partir da realização da Rio + 20, conferência realizada de 13 a 22 de junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro. Conclui-se que a obra traz uma abordagem técnica, científica, mas ao mesmo tempo com uma linguagem acessível para o público em geral, sobre o tema governança ambiental, bem como sobre economia e sustentabilidade voltados ao meio ambiente. Sugere-se incluir em um próximo debate a governança corporativa ambiental e as possibilidades de mudanças nos padrões de consumo e na fabricação de produtos.

**Palavras-chave:** governança ambiental; economia verde; Rio+20.

### ABSTRACT

The main objective of this critical review was to present readers with a thought to debate what type of sustainability is accompanying the green economy, as well as what should be a priority in the discussion of environmental governance. To this end, we proposed to prepare an analysis of the scientific article entitled Environmental Governance and Green Economy written by the authors Pedro Roberto Jacobi and Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli, published in Science and Public Health Magazine on May 4, 2012. The article addresses the themes of environmental governance and green economy based on Rio + 20, a conference held from June 13 to 22, 2012, in the city of Rio de Janeiro. It is conclude that the work brings a technical, scientific approach, but at the same time with an accessible language for the all public, on the topic of environmental governance, as well as on economics and sustainability focused on the environment. Suggests





itself to include environmental corporate governance and the possibilities of changes in consumption patterns and product manufacturing in a future debate.

**Keywords:** environmental governance; green economy; Rio+20.

## INTRODUÇÃO

O artigo científico intitulado Governança Ambiental e Economia Verde elaborado pelos autores Pedro Roberto Jacobi e Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli foi publicado na Revista Ciência & Saúde Coletiva em 04 de maio de 2012.

O autor Pedro Roberto Jacobi nasceu na cidade Buenos Aires, Argentina, no ano de 1950. Formou-se em Economia no ano de 1972 e em Ciências Sociais pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP) em 1973. Concluiu seu Mestrado em Planejamento Urbano e Regional na *Graduate School of Design – Harvard University* em 1976 e concluiu o Doutorado em Sociologia pela FFLCH no ano de 1986. Iniciou como docente na Faculdade de Educação (FEUSP) em 1988, onde integrou o EDA – Departamento de Administração Escolar e Economia da Educação, ministrando as disciplinas: Economia da Educação e Educação Ambiental, e na Pós-Graduação as disciplinas de Políticas Públicas e Educação e Meio Ambiente. Aposentou-se em 2018 (FEUSP, 2024).

O autor Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli concluiu o seu mestrado em Ciência Ambiental pela Universidade de São Paulo em 1997, doutorado em Economia Aplicada ao Meio Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) no ano de 2005, pós-doutorado em Gestão Recursos Hídricos na University Wageningen e livre docência pela Universidade de São Paulo em 2018. Possui pós-graduação em *Environmental Management* pela TU Dresden. É coordenador do PROCAM - Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental e credenciado no programa de Modelagem de Sistemas Complexos (SCX/EACH/USP). Atua nas áreas de Economia Ecológica e Gestão de Recursos Hídricos e Mudanças Climáticas (CNPq, 2024).

O artigo aborda os temas de governança ambiental e economia verde a partir da realização da Rio + 20, a qual foi realizada de 13 a 22 de junho de 2012, na cidade do Rio de Janeiro. A conferência ficou conhecida como Rio +20 porque marcou os vinte anos de realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) e contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas (Comitê Nacional de Organização Rio +20, 2012).

O Brasil realizou a proposta para sediar a Rio+20 e a mesma foi aprovada pela Assembleia-Geral das Nações Unidas na 64ª Sessão, em 2009. O principal objetivo da Conferência foi realizar a renovação do compromisso político com o desenvolvimento sustentável, por meio da avaliação do progresso e das lacunas na implementação das decisões adotadas pelas principais cúpulas sobre o assunto, e do tratamento de temas como a economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza, bem como da estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável (Comitê Nacional de Organização Rio +20, 2012).

Esses temas estão, intrinsecamente, ligados as temáticas estudadas pelos autores. Pedro Roberto Jacobi é professor de economia e de ciências sociais com pesquisas na área de planejamento urbano e regional, educação e sociologia. Já Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli é professor na área do meio ambiente e recursos hídricos e tem suas obras ligadas ao assunto abordado.

Assim, o objeto central do artigo é apresentar aos leitores um pensamento no sentido de debater que tipo de sustentabilidade está acompanhando a economia verde, bem como o que deve ser prioritário na discussão de governança ambiental. A partir dessas considerações, por meio do método da resenha crítica informativa, buscou-se descrever as opiniões dos autores acerca dos referidos temas e trazer argumentos plausíveis à análise. Para tanto, foram realizadas leituras aprofundadas da referida obra, de artigos científicos e de artigos de opinião encontrados no Google Acadêmico através das palavras-chave: Governança Ambiental, Economia Verde e Rio+20. De forma a contribuir com o debate e instigar os leitores dessa a conhecerem os posicionamentos tão relevantes abordados na obra em estudo.

## DESENVOLVIMENTO

O estudo foi estruturado em quatro tópicos, quais sejam: introdução, governança ambiental – elementos para debate, economia verde – um conceito e seus contraditórios e a conclusão. Essa estruturação facilitou o entendimento do conteúdo. Além disso, foi utilizada uma linguagem simples, fazendo com que os leitores de todas as áreas consigam ter uma boa compreensão sobre o conteúdo apresentado.

Inicialmente, aborda a evolução e o conceito de Governança e especifica a Governança Ambiental. Foi mencionado que a Governança é um termo que está sendo utilizado de forma generalizada, seja nas ideias políticas, econômicas ou científicas, abrangendo diversas visões, sentidos e dimensões, permitindo uma abordagem muito ampla e que, hoje em dia, o termo “governança” é utilizado para indicar um novo modo de governar, que é diferente dos modelos tradicionais onde as autoridades exercem o controle máximo sobre a sociedade. Enfatiza que a governança ambiental envolve todos nas decisões sobre o meio ambiente, seja através das organizações civis e/ou governamentais, para obter uma grande adesão ao projeto de integridade do planeta.

Um dos pontos positivos no texto é que aponta o entendimento dos críticos, uma vez que alegam ser uma visão idealizadora a de que o Estado, os mercados e a Sociedade Civil sejam parceiros, desconsiderando as assimetrias existentes. Assim, afirmam que o grande desafio é desenvolver-se na direção de acordos baseados em pontos comuns, no sentido de diminuir os problemas provocados pelo homem através de ações contra o meio ambiente.

O estudo menciona o fortalecimento da Governança Ambiental que pressupõe atuação em rede, atuação integrada e o ganho de poder dos autores envolvidos na gestão, interagindo com os tomadores de decisões. Para isso, podem ser utilizadas várias ferramentas e estratégias como as arenas de negociação, práticas educativas e a participação efetiva da sociedade civil, tudo para colaborar com o procedimento de tomada de decisão

compartilhada. Os autores opinam ainda que a governança ambiental deve passar por uma reconfiguração das instituições governamentais de meio ambiente, bem como em suas políticas de sustentabilidade socioambiental.

Um tema que poderia ser mais abordado no estudo seria a Governança Corporativa aplicada ao meio ambiente, pois na atualidade ela é primordial para as grandes empresas de iniciativa privada, principalmente, as de capital aberto com ações na bolsa de valores, que necessitam passar confiabilidade para seus acionistas. Ademais, é vista como imprescindível ao serviço público no tempo hodierno, já que por meio dela podem ser evitados procedimentos corruptos e condutas ineficientes. Um importante conceito de Governança Corporativa é de Filipe Nascimento, que menciona:

Governança corporativa é o conjunto de mecanismos e de boas práticas que objetivam preservar e incrementar o valor a longo prazo de uma dada organização, atendendo aos interesses de todas as pessoas impactadas por tal empreendimento, por meio da instituição de sistemas de controle dos órgãos da administração e pessoas com poder de decisão na estrutura organizacional (Nascimento, 2023).

O artigo mostra ainda que o assunto sobre economia verde também desperta bastante interesse internacional e menciona que a própria Organização das Nações Unidas (ONU) tem programa voltado para o meio ambiente, reforçando aspectos que estabelecem a economia verde sendo sustentada em três pilares: pouca intensidade em carbono, a eficiência no uso de recursos naturais e a ênfase na inclusão social.

O estudo menciona, rapidamente, a relação entre a economia verde e a saúde, onde afirma que pode ser associada com os efeitos provocados pelas mudanças climáticas nas diversas esferas, como transportes, habitação, saneamento básico e fontes de energia e, especialmente, dos setores mais excluídos da comunidade. A relação entre a economia verde e a saúde poderia ser um pouco mais desenvolvida, pois poderiam ser incluídos tópicos como alimentação, a qual está bastante interligada com a área da saúde e meio ambiente.

Os autores alegam que foi dada pouca atenção à necessidade de controle social sobre os poderes econômicos, à necessidade de agir sobre a desigualdade e aos padrões de produção e consumo não sustentáveis. A definição de desenvolvimento sustentável que dá contribuição à economia verde é mencionada como desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de futuras gerações de atender suas próprias necessidades. Para incrementar o debate poderia ter acrescentado, de uma forma mais ampla, a adesão de novos métodos de produção e de padrões de consumo retratados por um estilo de vida mais planejado. Nesse sentido, temos a manifestação de Schumacher nos seguintes termos:

Nem pode a luta contra a poluição ser bem sucedida se os modelos de produção e consumo continuarem a existir numa escala, complexidade e grau de violência que, conforme está ficando cada vez mais evidente, não se enquadram nas leis do universo a que o homem está tão sujeito quanto o restante da criação. Tampouco existirá a possibilidade de reduzir a taxa de esgotamento de recursos ou de criar harmonia nas relações entre os que possuem e os que não possuem riqueza e poder enquanto não existir em parte alguma a ideia de que ter o bastante é bom e ter mais do que o bastante é mau (Schumacher, 1983).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obra elaborada pelos autores traz uma abordagem técnica, científica, e ao mesmo tempo com uma linguagem acessível para o público em geral, sobre o tema governança ambiental, bem como sobre economia e sustentabilidade voltados ao meio ambiente.

O assunto governança ambiental foi bem articulado. No entanto, acredita-se que poderia ter sido incluído o debate sobre a governança corporativa ambiental para as grandes empresas privadas, as quais poderiam trabalhar em conjunto com a sociedade e com os organismos governamentais, trazendo, conseqüentemente, várias contribuições para a natureza.

Outro ponto bem abordado no artigo foi a economia verde, a qual foi apresentada em três pilares principais, conforme a própria ONU, quais sejam: pouca intensidade em carbono, a eficiência no uso de recursos naturais e a ênfase na inclusão social. Para acrescentar, o estudo poderia ter proposto uma maior discussão sobre as possibilidades de mudanças nos padrões de consumo e na fabricação de produtos. Entre essas, poderia propor que as instituições privadas, juntamente, com os organismos internacionais promovessem um novo estilo de vida para a sociedade, para que a mesma compreenda a necessidade de tornar o meio ambiente mais sustentável. Salientando, desde já, que tal projeto é longo e complexo.

Em síntese, o artigo é coeso, bem coerente e apresenta grandes contribuições para a comunidade científica e para própria sociedade.

## REFERÊNCIAS

CNPq. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Currículo Lattes Paulo Antônio de Almeida Sinisgalli**. Disponível em: [https://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?jsessionid=468A11D407244AA30FC9585C5279504B.buscatextual\\_0](https://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?jsessionid=468A11D407244AA30FC9585C5279504B.buscatextual_0). Acesso em: 12 jan. 2024.

COMITÊ NACIONAL DE ORGANIZAÇÃO RIO +20. **Sobre a Conferência Rio +20**. Disponível em: [http://www.rio20.gov.br/sobre\\_a\\_rio\\_mais\\_20.html](http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html). Acesso em: 12 jan. 2024.

FEUSP. Faculdade de Educação da USP. **Memória do Corpo Docente – Pedro Roberto Jacobi**. Disponível em: <https://www4.fe.usp.br/memoria-do-corpo-docente-pedro-roberto-jacobi>. Acesso em: 12 jan. 2024.

NASCIMENTO, F. A. S. **Manual de Humanística – Introdução às Ciências Humanas e à Teoria do Direito para Carreira Jurídica**. 3ª ed. São Paulo. Editora Juspodivm, 2023.

SCHUMACHER, E. F. **O negócio é ser pequeno**: um estudo de economia que leva em conta as pessoas. 4ª ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1983. p. 313.

## Mestre da Botânica: um game de anatomia vegetal para disseminar aprendizados: uma proposta didática lúdica

**Gabriela Pereira Moura**

*Graduada em Biologia – Universidade Estadual do Piauí - UESPI*

**Maria Gardênia Sousa Batista**

*Doutora em Ciências, Engenharia de Sistemas e Computação – UFRJ/COPPE; Professora Adjunto Curso de Biologia da Universidade Estadual do Piauí - UESPI*

**Maria de Fátima Vasconcelos de Oliveira**

*Doutora em Botânica – UFRPE; Professora Adjunto Curso de Biologia da Universidade Estadual do Piauí - UESPI*

**Paulo Lopes Sobrinho**

*Mestre em Botânica – UFRPE; Professor do Curso de Biologia da Universidade Estadual do Piauí - UESPI*

**Lorran André Moraes**

*Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente (REDE - PRODEMA) Professor do Curso de Biologia da Universidade Federal do Piauí - UFPI*

**Francinalda Maria Rodrigues da Rocha**

*Doutoranda em Educação - Universidade Federal de São Carlos - UFGar - SP*

**Francisco Moisés Sousa Batista**

*Graduando em Química – Instituto Federal do Piauí - IFPI*

### RESUMO

O ensino de Biologia, especialmente a botânica, enfrenta desafios como a memorização excessiva de conteúdos, a falta de conexão com a realidade dos alunos e a utilização de métodos tradicionais pouco eficazes. Essa situação gera desmotivação e dificuldade de aprendizagem, levando os alunos a considerarem a Biologia irrelevante para suas vidas. Para superar esses desafios, este estudo propõe a criação de um jogo interativo de botânica utilizando a ferramenta Powerpoint. O jogo, intitulado “Mestre da Botânica”, aborda os conceitos de anatomia vegetal de forma lúdica e dinâmica, visando assim, facilitar, revisar conceitos de anatomia vegetal de forma a fixar conhecimentos e transformar as aulas em momentos de diversão e engajamento de forma lúdica e dinâmica no ensino de Biologia para estudantes do Ensino Médio. O game conta com recursos como quiz, aliado à imagens e ações interativas. A dinâmica do jogo envolve perguntas sobre os diferentes conceitos de anatomia vegetal, com diferentes níveis de dificuldade para atender às necessidades de cada aluno.

**Palavras-chave:** anatomia vegetal; ensino básico e superior; ensino de biologia; jogos digitais; tecidos vegetais.





## ABSTRACT

Biology teaching, especially botany, faces challenges such as excessive memorization of content, lack of connection with students' reality and the use of ineffective traditional methods. This situation creates demotivation and learning difficulties, leading students to consider Biology irrelevant to their lives. To overcome these challenges, this study proposes the creation of an interactive botany game using the PowerPoint tool. The game, entitled "Master of Botany", addresses the concepts of plant anatomy in a playful and dynamic way, thus aiming to facilitate and review concepts of plant anatomy in order to establish knowledge and transform classes into moments of fun and engagement in a playful way. and dynamics in teaching Biology to high school students. The game has features such as quizzes, combined with images and interactive actions. The dynamics of the game involve questions about different concepts of plant anatomy, with different levels of difficulty to meet the needs of each student.

**Keywords:** plant anatomy; basic and higher education; teaching biology; digital games; plant tissues.

## INTRODUÇÃO

A Biologia, é uma ciência vasta e que se dedica ao estudo dos seres vivos e da vida, abrange desde o estudo e conhecimento de estruturas macroscópicas, como a dinâmica de ecossistemas, até a estrutura molecular das células. Por ser uma ampla área de estudos, e dessa forma, bastante extensa, engloba inúmeros conceitos e abordagens para seu entendimento. Dessa forma, com a ampla gama de informações, é difícil o repasse de conceitos abstratos e multifacetados em aulas dinâmicas e acessíveis aos alunos (Silva, 2023).

A falta de estímulo dos professores no âmbito da Biologia é resultado do uso de uma metodologia tradicional e decorativa, pois existe em demasia a utilização de livros didáticos com a exposição de conteúdos teóricos bem específicos e complexos, que em grande parte das vezes estão distantes da realidade de alunos e professores (Silva, 2008). Ainda na perspectiva de Silva (2008), atualmente as informações dessa área estão cada vez mais complexas, aliadas ao rápido desenvolvimento tecnológico, logo assim, o repasse da pesquisa para a realidade escolar dos alunos são meramente notáveis.

Por esse motivo, o ensino das Ciências Biológicas tem se mostrado, por outro lado, como um obstáculo para os alunos, por falta de interesse e conexão dos educandos com os conteúdos programáticos dessa disciplina. Essa desmotivação pode estar relacionada à dificuldade de entender a relevância da matéria para suas vidas, já que na perspectiva de muitos, essa ciência é desnecessária no cotidiano e no futuro profissional (Vieira *et al.*, 2010). Dessa maneira, por apresentar conteúdos considerados complexos e extensos, usualmente é abordado pelos alunos o método de memorização dos conceitos e termos específicos (Benedetti; Diniz; Nishida, 2005).

Na perspectiva de Krasilchik (2004), os conceitos e termos complexos passam a ter mais significado quando estão aliados de exemplos e demonstrações suficientes para

construir analogias e associações, integrando o conteúdo de Biologia de uma forma mais fácil com suas experiências pessoais. Porém, o excesso dos conteúdos, presentes no Currículo da Biologia, tende a reduzir o tempo necessário para que o docente apresente exemplos e analogias variadas, que levam os estudantes a um entendimento melhor dos conceitos apresentados e um aprendizado mais significativo, reflexivo e crítico (Silva; Moreira, 2015).

Sendo assim, os desafios da educação contemporânea exigem uma revisão crítica das práticas pedagógicas tradicionais, especialmente no campo das Ciências Biológicas. Visto que, o ensino de Biologia, muitas vezes, se concentra em conceitos abstratos, terminologia complexa e metodologias científicas, desconsiderando as necessidades e interesses dos alunos. Essa abordagem resulta em um aprendizado pouco significativo e distante da realidade dos estudantes (Borges; Lima, 2007).

Por isso, o processo de ensino-aprendizagem se mostra eficaz como uma nova maneira de inovar o ensino de Biologia dentro das salas de aula. Nesse aspecto Júnior, Carneiro e Acrani (2010) estabelecem que:

Estudos sobre o ensino do processo de investigação científica mostram a necessidade de inserção do aluno em atividades que levem ao desenvolvimento do conhecimento de maneira ativa, o que pode permitir o desenvolvimento do conhecimento sobre como a ciência é construída e também, proporcionar o desenvolvimento de habilidades durante a condução do processo.

Em outro panorama, no processo de ensino-aprendizagem, os alunos apresentam conhecimentos prévios adquiridos em suas experiências ao longo da vida, levando a carregar algumas resistências diante dos novos conhecimentos da escola. Assim, cabe ao professor lidar com os conteúdos variados da Biologia, aliado às experiências externas vivenciadas pelos alunos, para evitar embates de conhecimento (Durée *et al.*, 2018).

No ensino da Biologia é irrefutável que o indivíduo esteja motivado e interessado para que consiga uma preparação básica para o trabalho e ao exercício da cidadania. O discente possa ter experiências e aprendizagens com sentido e que lhe permita adquirir um instrumental para agir em diversos contextos da vida, além do aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico. Além de tudo, que haja compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática (Brasil, 2001).

Por esse motivo, o processo ensino-aprendizagem se mostra de forma eficaz quando há motivação e interesse por parte do aluno. Quanto maior a motivação para aprender, maior será a disposição para se estudar, o que acarretará êxito na escola e na vida futura. Se o discente não encontrar significado no trabalho que tem a realizar, posteriormente, não verá perspectiva futura nessa aprendizagem, provavelmente não terá interesse em aprender (Bini; Pabis, 2008).

Nesse sentido, baseado nas vivências em unidades escolares de Ensino Fundamental e Médio, a Botânica é mais um tema da Biologia ainda considerado como um assunto de dificuldade para o entendimento dos discentes, e de repasse entendível pelos professores. Visto que, há um excesso no número de informações repassados do conteúdo em um curto espaço de tempo e a quantidade de expressões e nomeações complexas

dessa disciplina que abrange o mundo vegetal (Cancian; Frenedo, 2010). A Botânica pode contribuir para compreender a linguagem da natureza que se manifesta ininterruptamente no cotidiano das pessoas (Melo *et al.*, 2012).

A Anatomia Vegetal é o ramo inserido na Botânica que estuda a estrutura e disposição das células, tecidos e órgãos internos das plantas de forma microscópica. Em grande parte das vezes o termo anatomia vem agregado do pensamento de anatomia humana, com o estudo de sistemas, órgãos e tecidos. Entretanto, as mesmas estruturas e tecidos podem ser observadas em outros seres vivos (Maruri, 2021).

A formação acerca do aspecto biológico deve ser transpassada muito além de memorização de conteúdos, utilizando-se de ferramentas tecnológicas e versáteis saindo do modelo tradicional de aulas. Kishimoto (2006), deixa claro que para ocorrer a aproximação dos jovens ao conhecimento científico é interessante a utilização de materiais didáticos variados, como livros, vídeos, revistas e jogos didáticos (tecnológicos ou não). Esses materiais devem ser utilizados em uma abordagem lúdica, despertando o interesse dos alunos, estimulante à construção do conhecimento (Kishimoto, 2006).

Como alternativa de ensino, em um panorama onde se presencia cada vez mais a implementação de tecnologias no ambiente escolar, os jogos didáticos são utilizados como aliado em disseminar aprendizados auxiliando na aquisição e desenvolvimento da cognição. No processo de apropriação do conhecimento os jogos didáticos se mostram valiosos, permitindo a cooperação e competição em um contexto formativo (Brasil, 2006).

Nesse ponto de vista, os recursos audiovisuais no âmbito educacional são de importante relevância. O Microsoft Office Powerpoint, sobrevém como um apoio e recurso metodológico que auxilia o docente em sala de aula. O programa é amplamente utilizado por professores e alunos, por ser de fácil operacionalização, gratuito e de fácil acessibilidade. Além de que, possui mecanismos como *hiperlinks* e hiperímias, e que quando utilizados na criação de *slides* traz uma abordagem dinâmica e de aprendizagem positiva e interativa, possibilitando uma aliança do mundo real e virtual (Junior Barros, 2005; Microsoft, 2013).

O jogo “Mestre da Botânica” traz como proposta a abordagem sobre o tema “Tecidos Vegetais” como parte da formação específica dos alunos do segundo ano do Ensino Médio. Ao utilizar os jogos como ferramentas poderosas para revisar conceitos, fixar conhecimentos e preparar os alunos para avaliações escolares e testes, irá transformar as aulas em momentos de pura diversão e engajamento, onde os alunos se sentirão protagonistas da própria aprendizagem. Além de testar o conhecimento dos discentes de forma lúdica e dinâmica irá ajudá-los a aprimorar suas habilidades, como resolução de problemas, pensamento crítico, além do trabalho em equipe e a comunicação.

Assim, este projeto, proporciona a dinamização do ensino de Botânica no Ensino Médio, a fim de enriquecer o aprendizado na área da Botânica, em especial a Anatomia vegetal, além de apresentar um potencial transformador que transcende seus limites, abrindo portas para a expansão de conhecimentos em diversas áreas do saber, tais como; química, física, matemática e outras matérias interdisciplinares (Durée *et al.*, 2018).

Sob essa conjuntura, o presente estudo tem como objetivo propor um jogo de caráter dinâmico e interativo, sobre temas relacionados a tópicos sobre os tecidos

vegetais, bem como aos conceitos de epiderme, estômatos, esclerênquima, parênquima, colênquima, xilema, floema e meristemas, utilizando-se da ferramenta Powerpoint para auxílio pedagógico, e assim diversificar as estratégias de ensino na área da Botânica, especificamente a Anatomia vegetal. Assim, terá como proposta um quiz lúdico para abordar os diferentes conceitos atrelados a Anatomia Vegetal, para o ensino de Biologia, voltado para estudantes do Ensino Médio, esperando que os alunos fixem as informações obtidas por meio do jogo digital interativo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Construção do Jogo**

O jogo “Mestre da Botânica”, configura-se como um jogo interativo de abordagem inovadora. Através de sua estrutura lúdica e dinâmica, o jogo propõe aos alunos uma jornada imersiva no universo da Anatomia Vegetal, fomentando a construção do conhecimento de forma autônoma e prazerosa. O game transcende a mera recreação, assumindo o papel de mediador no processo de ensino-aprendizagem. Através da gamificação, o jogo motiva e engaja os alunos, tornando-os protagonistas de sua própria aprendizagem.

O jogo foi desenvolvido para alunos que já tenham conhecimento sobre Anatomia. Para melhor aproveitamento, é importante que os educandos possuam domínio ao tema de Tecidos vegetais; bem como aos conceitos de epiderme, estômatos, esclerênquima, parênquima, colênquima, xilema, floema e meristemas. Ressaltando a importância também de conhecer o valor de cada tecido vegetal, suas especificações e diversidades estruturais relacionadas aos processos adaptativos e evolutivos das espécies vegetais em cada habitat por meio do mecanismo de especiação.

A dinâmica do jogo consiste em perguntas simples elaboradas conforme o conteúdo, descrevendo características presentes no órgão vegetal, acompanhados de imagens de lâminas histológicas de espécies vegetais selecionadas e fotografadas no Laboratório de Biologia Vegetal - LABIOVEG, da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), Campus Poeta Torquato Neto, de Teresina, Piauí. No total, o jogo possui 10 questões interativas, onde inicia-se com as instruções e o comando para “iniciar”. Ao clicar no “botão” com a respectiva alternativa correta, leva o jogador ao slide de parabenização e pontuação, entretanto, caso a alternativa esteja incorreta, o encaminha para o slide de resposta errada, encorajando-o a continuar o game, e tentar as outras questões sobre a temática.

### **Desenvolvimento do Jogo**

Primeiramente, foram escolhidas lâminas histológicas permanentes e semipermanentes presentes no Laboratório de Biologia Vegetal - LABIOVEG, da Universidade Estadual do Piauí (UESPI), com cortes dos principais tecidos vegetais de algumas espécies vegetais. As lâminas foram fotografadas com uso do fotomicroscópio modelo NIKON Eclipse E100, equipamento disponível também no laboratório, e as imagens selecionadas para acompanhamento e ilustração das perguntas (Anexo 1).

O jogo foi todo desenvolvido na plataforma PowerPoint que permite o fácil acesso e utilização em diferentes dispositivos, e encontra-se disponível no link: “<[https://docs.google.com/presentation/d/1oEUQwE9NRZMJSd-k9AKT28N2Yd7Y\\_/edit?usp=sharing&oid=118024711161837990595&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/presentation/d/1oEUQwE9NRZMJSd-k9AKT28N2Yd7Y_/edit?usp=sharing&oid=118024711161837990595&rtpof=true&sd=true)>”. A princípio o game será aplicado com a supervisão do docente na leitura dos questionamentos e organização dos grupos e contabilização da pontuação. O mesmo foi idealizado para ser jogado em grupos de quatro ou cinco alunos, projetado a partir de equipamentos de imagem (Notebook e Projetor), sendo adaptável para ser executado também de forma individual com o uso do aparelho celular pelo jogador de forma privativa. O jogo consta tempo médio de aplicação, entre 20 a 40 minutos, incluindo organização da turma, aplicação e uma nova tentativa de partida, caso o aluno jogue novamente.

O recurso digital aos discentes será uma ferramenta complementar enriquecendo a experiência educacional e promovendo o aprendizado de forma mais dinâmica, engajadora e significativa. Visto que, este equipamento está excessivamente inserido no cotidiano educacional, disputando espaço com a sala de aula. Desse modo, torna-se uma ferramenta aliada ao processo de aprendizagem.

Em grupos organizados, o docente realizará um sorteio para saber quem iniciará a partida. O game inicia-se apresentando o título e design (Figura 1), levando ao comando para “Prosseguir”, dando assim iniciativa para as informações do jogo (Figura 2).

Figura 1 - Página Inicial do jogo “Mestre da Botânica”.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 2 - Instruções do jogo “Mestre da Botânica”.



Fonte: Autoria Própria, 2024.



Por conseguinte, após as informações e regras do jogo, segue as perguntas elaboradas (Quadro 1), divididas em diferentes níveis de dificuldade, com perguntas sobre os tecidos vegetais. Estas, estão separadas em slides com alternativas clicáveis (Apêndice 1), através da seta cursor e um “clique” na alternativa direcionará ao *interlink*, que levará o jogador à alternativa correta com sua pontuação (Apêndice 2), ou a alternativa errada (Apêndice 3), após, seguirá às perguntas posteriores. Ademais, associados aos questionamentos consta as imagens das lâminas histológicas de cortes anatômicos, com cada estrutura vegetal, para que o discente possa ter um recurso visual, e assim melhor fixar o conteúdo (Apêndice 4).

**Quadro 1 - Perguntas utilizadas no jogo “Mestre da Botânica”.**

PERGUNTA	ALTERNATIVAS	ALTERNATIVA CORRETA
1. As estruturas presentes em folhas e caules, formadas por um poro denominado ostíolo, circundado por células guarda e que realizam trocas gasosas com o meio, representados na imagem são:	A. Cloroplastos; B. Célula vegetal; C. Estômatos.	C. Estômatos.
2. Qual o tecido vegetal, representado na imagem, fornece sustentação mecânica e rigidez às plantas?	A. Xilema; B. Floema; C. Colênquima.	C. Colênquima.
3. Qual estrutura vegetal é composta por células vivas, justapostas e sem espaços entre elas, formando uma barreira protetora contra o ambiente externo?	A. Colênquima; B. Epiderme; C. Periderme.	B. Epiderme.
4. Qual tecido vegetal é responsável pelo transporte de água e minerais da raiz para as folhas?	A. Colênquima; B. Epiderme; C. Xilema.	C. Xilema.
5. Que tipo de tecido vegetal armazena água e substâncias nutritivas para a planta?	A. Colênquima; B. Epiderme; C. Parênquima.	C. Parênquima
6. Qual tecido vegetal é encontrado em caules e raízes, conferindo sustentação mecânica à planta?	A. Colênquima; B. Esclerênquima; C. Xilema.	B. Esclerênquima.
7. O Súber, também conhecido como CASCA, é um tecido fundamental de revestimento secundário. Qual a principal função do Súber ?	A. Proteção contra perda de água; B. Fotossíntese; C. Sustentação Mecânica.	C. Sustentação Mecânica.
8. As raízes das plantas absorvem água e minerais do solo, por meio de estruturas chamadas _____, e o tecido vegetal onde se encontram, é denominado _____?	A. Estômatos, Colênquima; B. Tricomas, Rizoderme; C. Acúleos, Parênquima.	B. Tricomas, Rizoderme.
9. Qual o tecido, representado na imagem, é responsável pelo transporte de seiva elaborada nas plantas?	A. Floema; B. Xilema; C. Súber.	C. Súber.
10. Qual o tipo de parênquima representado na imagem, com células alongadas, responsável por grande parte da fotossíntese da planta ?	A. Lacunoso; B. Paliçádico; C. Preenchimento.	B. Paliçádico.

Fonte: Autoria Própria, 2024.

Ao final da partida, em específico na última questão, o jogador clica no botão que o levará ao slide final com as pontuações, então, o grupo ou o indivíduo deverá somar a quantidades de acertos e corresponder com o nível de conhecimento que ele tem sobre os tecidos vegetais, e assim ser considerado ou não um “Mestre da botânica”. O acesso ao botão final retornará ao início do game, que possibilitará ao discente uma nova tentativa (figura 3).

**Figura 3 - Pontuação do jogo “Mestre da Botânica”.**



Fonte: Autoria Própria, 2024.

## Construção do Jogo “Mestre da Botânica” pelo PowerPoint

1. Selecione as imagens que usará no jogo. Abra o PowerPoint. Crie, no primeiro slide, com a capa do jogo e os elementos que desejar > inserir uma forma > inserir texto “Prosseguir” na forma.
2. Monte, no segundo slide, com as instruções > adicionar forma > adicionar texto “Iniciar Jogo” na forma.
3. No slide três, editar a primeira pergunta e colocar três alternativas de resposta. Para inserir as imagens vá em inserir imagens.
4. Monte, no quarto slide, a página de acerto e pontuação, coloque uma imagem de um botão para a próxima pergunta.
5. Crie, no quinto slide, a página de Resposta errada e coloque uma imagem de um botão com a mensagem “Próxima”. Para inserir as imagens vá em inserir imagens.
6. Para criar mais uma pergunta e as suas telas de erro e de acerto, duplique o slide 3 com a tecla direita do mouse, e o arraste para baixo, colocando como slide 6.
7. Crie, no sexto slide, a pergunta 2, com os mesmos passos da pergunta 1.
8. Crie, no sexto slide, a tela de acerto da pergunta 2, da mesma forma como foi criada a tela de acerto da pergunta 1.
9. Crie, no sétimo slide, a tela de erro da pergunta 2, da mesma forma como foi criada a tela de erro da pergunta 1.
10. Repita os passos 2, 3 e 4 para tantas quantas forem as perguntas do Quiz.
11. Crie um slide de fim do Quiz.
12. Com todas as perguntas e slides criados, agora é só escolher em quais perguntas vai estar a alternativa correta > clicar no campo da alternativa > inserir link para o slide com a mensagem de resposta correta ou resposta errada. Fazer isso com as demais perguntas.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

No contexto do ensino da Botânica, o caráter desestimulador vem agregado pelo fato de que os alunos consideram o tópico infrutífero, apenas enxergam os vegetais como elementos que constituem uma paisagem, considerando o estudo das plantas algo desmotivador. Flannery (1991) deixa claro que estamos mais habituados e interessados em animais, pois os mesmos se movem, pensam e até conseguem estabelecer relações mais fáceis com o ser humano.

Dessa forma, o jogo aparece como uma ferramenta poderosa para facilitar a aprendizagem e promover conexões significativas com o conteúdo, como visto com o jogo “Mestre da Botânica”. Através da interatividade e da dinamicidade que os jogos proporcionam, os alunos se tornam protagonistas do seu próprio aprendizado, explorando, experimentando e construindo conhecimento de forma ativa e engajadora (Miranda, 2001).

Os jogos interativos introduzem um elemento de interação e dinamismo nas aulas, transformando o aprendizado em uma experiência divertida e prazerosa. Essa abordagem lúdica desperta o interesse e curiosidade dos alunos, contribuindo para a construção de relações positivas e colaborativas em sala de aula. Ao trabalharem em equipe para alcançar objetivos em comum, os discentes desenvolvem habilidades de comunicação, trabalho em equipe e resolução de conflitos. Posteriormente, os games propiciam inclusão e equidade.

Nessa jornada o jogo “Mestre da Botânica” vem como uma ferramenta virtual para o ensino de Anatomia Vegetal no PowerPoint, buscando transformar o ensino dessa disciplina em uma experiência mais dinâmica, interativa e significativa para os alunos do segundo ano do Ensino Médio, possibilitando também sua aplicação e adaptação no Ensino Superior. Ao longo do percurso, é explorado diversas ferramentas e recursos disponíveis no PowerPoint, como animações, transições, efeitos e imagens, para dar vida aos jogos e despertar a curiosidade e fixam a atenção dos alunos, de modo que facilite a compreensão da proposta.

Em sala de aula os professores devem ser instruídos a utilizar jogos virtuais como ferramentas complementares ao ensino tradicional, buscando explorar diferentes tipos de jogos e plataformas para atender às necessidades dos seus alunos. É fundamental que os professores recebam formação continuada sobre o uso de jogos virtuais no ensino, aprimorando suas habilidades para criar e utilizar os mesmos de forma eficaz em sala de aula, em destaque no ensino de Botânica, com ênfase em Anatomia Vegetal.

Embora os jogos virtuais apresentem um grande potencial para o ensino, é importante reconhecer que também existem alguns pontos negativos que precisam ser considerados, como o acesso aos recursos digitais na Educação Básica, as diferentes variáveis como idade, grau de conhecimento e modo de aprendizagem dos alunos. É de fundamental importância utilizar este recurso maximizando seus benefícios como uma ferramenta promotora de ensino (Barroso; Silva, 2014).

Espera-se, que com a presente proposta do jogo digital “Mestre da Botânica” promova uma revisão de conceitos abordados no Ensino Básico e Superior sobre esta área do conhecimento científico. De modo que, ressalte a importância de utilizar diferentes recursos didáticos como os jogos, no processo de ensino-aprendizagem das Ciências

Biológicas, em destaque, aos discentes do segundo ano Ensino Médio. Com isto, possibilite revisar o tema de Tecidos vegetais, bem como aos conceitos de epiderme, estômatos, esclerênquima, parênquima, colênquima, xilema, floema e meristemas, com a aplicação do jogo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O jogo digital “Mestre da Anatomia vegetal”, apresenta-se como uma alternativa inovadora para o Ensino de Biologia, com o potencial de transformar as aulas em experiências mais dinâmicas, interativas e significativas para os alunos. Visto que, ressalta-se a aplicação da gamificação em sala de aula ao processo de ensino-aprendizado, para se obter resultados satisfatórios ao despertar o interesse dos alunos nas diferentes áreas do conhecimento científico, cujo, destaca-se a disciplina Biologia, nos conteúdos de botânica, em especial, anatomia vegetal.

Nesse viés, a proposta vai além de uma simples ferramenta de Ensino de Biologia. O jogo “*Mestre da Anatomia vegetal*” tem o potencial de transcender os limites do mundo vegetal, abrindo portas para a expansão de conhecimentos e possibilitar o desenvolvimento de jogos em diversas áreas do saber, como química, física, matemática e outras matérias interdisciplinares. Mediante a interconexão de diferentes disciplinas, os alunos podem desenvolver uma visão holística do mundo e aprimorar suas habilidades de aprendizado de forma abrangente.

Diante do contexto que o ensino dos conteúdos de Botânica vem ocorrendo no âmbito escolar com desmotivação, resultando em dificuldade no aprendizado de conceitos e termos complexos. Evidencia-se que, a aplicação do jogo pelos docentes possa possibilitar aos discentes novos caminhos para um aprendizado mais significativo, transformador e inspirador para os alunos de diferentes níveis de ensino, em destaque no segundo ano do Ensino Médio aos conteúdos direcionados a Anatomia Vegetal.

## REFERÊNCIAS

BARROS, D. M. V; JUNIOR, W. A. **Objetos de aprendizagem virtuais: material didático para a educação básica**. RELATEC: Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa, v. 4, n. 2, p. 73-84, 2005.

BARROSO, L. F. C.; SILVA, R. N. **Jogos digitais: Uma proposta para o ensino de botânica no ensino fundamental**. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v.19. n 1, p. 14-26, 2014.

BENEDETTI, D, N.; BENEDETTI, J.; DINIZ, R.; NISHIDA, S. **O jogo de representação (RPG) como ferramenta de ensino**. In: I Encontro Nacional de Ensino de Biologia e III Encontro Regional de Ensino de Biologia da Regional RJ/ES, 2005, Rio de Janeiro; UFRJ, Anais, 2005.

BINI, L. R; PABIS, N. **Motivação ou interesse do aluno em sala de aula e a relação com atitudes consideradas indisciplinadas**. Revista Eletrônica Lato Sensu, Curitiba, ano 3, n. 1, mar. 2008.

BORGES, R. M. R.; LIMA, V. M. R. **Tendências contemporâneas do ensino de Biologia no Brasil**. Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 6, n. 1, p. 165-175, 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias: secretaria de educação média e tecnológica**. Brasília: MEC, 2001.

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e Suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 2006.

CASSIANA, M. A. E.; FRENEDOZO, R. C. **Cultivo de Briófitas em laboratório para utilização como recurso didático no Ensino Médio**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1- 8, 2010.

DURÉE, R. C.; DE ANDRADE, M. J. D; ABÍLIO, F. J. P. **Ensino de Biologia e Contextualização do Conteúdo: Quais Temas o Aluno de Ensino Médio Relaciona com o seu Cotidiano?**. Experiências em ensino de ciências, v. 13, n. 1, p. 259-272, 2018.

FLANNERY, M. C. Considerando as plantas. **O Professor Americano de Biologia**, v. 53, n. 5, p. 306-309, 1991.

JUNIOR, A. M; CARNEIRO, N. M; ACRANI, S. Atividades práticas de botânica como meio de aproximação entre as instituições de ensino superior, a formação docente e o ensino médio da rede estadual. **Revista da SBEnBio–Número**, v. 3, p. 2235, 2010.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. Edusp, 2004.

MARURI, M. M.. **Elaboração de Modelos Didáticos em 3D para o Ensino de Anatomia Vegetal**. 2021.

MELO, E. A.; ABREU, F. F.; ANDRADE, A. B.; ARAÚJO, M. I. O. A aprendizagem de botânica no ensino fundamental: Dificuldades e desafios. **Ciência plena**, v. 8, n. 10, 2012.

MIRANDA, S. 2001. **No fascínio do jogo, a alegria de aprender**. Ciência hoje v. 28: pág: 64-66.

SILVA, M. S.; MOREIRA, A. F. B. **O ensino de biologia no contexto da reforma do ensino médio: desafios e perspectivas**. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 20, n. 1, p. 129-144, 2015.

SILVA, P. G. P.. **O ensino da botânica no nível fundamental: um enfoque nos procedimentos metodológicos**. 2008.

SILVA, T. G. *et al.* **Um olhar para as plantas**: Abordagem por meio de sequências didáticas investigativas. 2023.

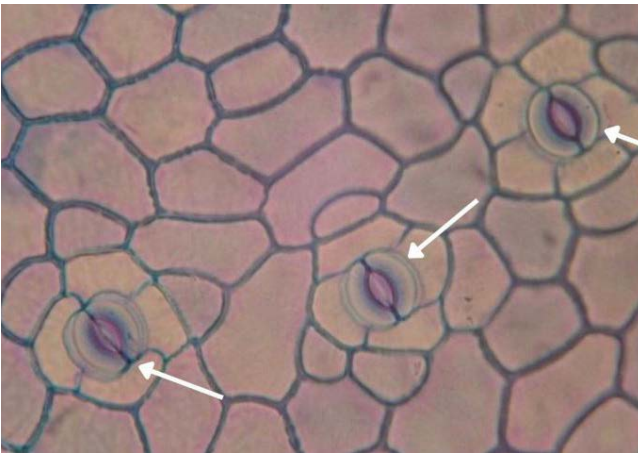
VIEIRA, F. L. *et al.* Causas do desinteresse e desmotivação dos alunos nas aulas de Biologia. **Universitas Humanas**, v. 7, n. 1, 2010.

VIEIRA, R. M.; TENREIRO-VIEIRA, C. Práticas didático-pedagógicas de ciências: estratégias de ensino-aprendizagem promotoras do pensamento crítico. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, nº 20, p. 34-40, 2015.

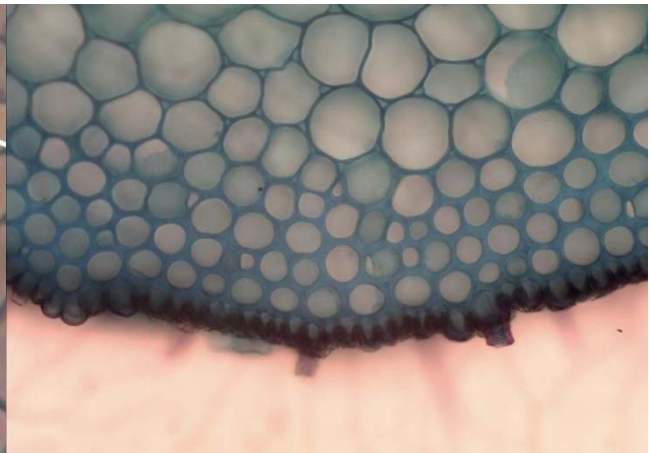


## ANEXOS

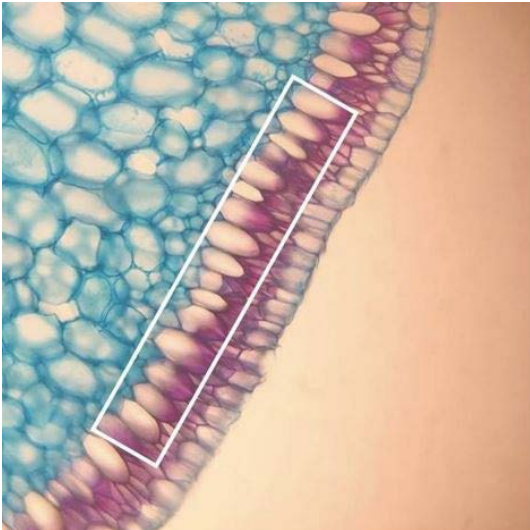
### Anexo 1. Lâminas histológicas fotografadas dos tecidos vegetais.



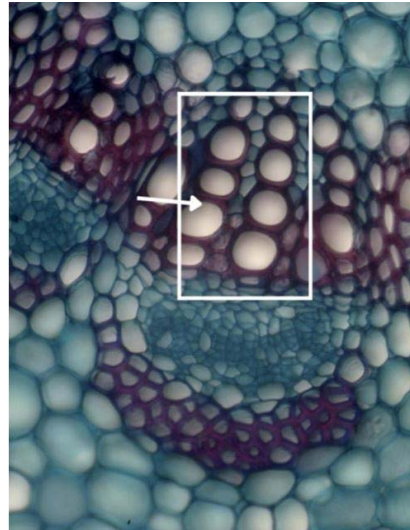
**Legenda:** Corte transversal de *Pleurothallis grobyi*, destacando os estômatos da epiderme foliar.



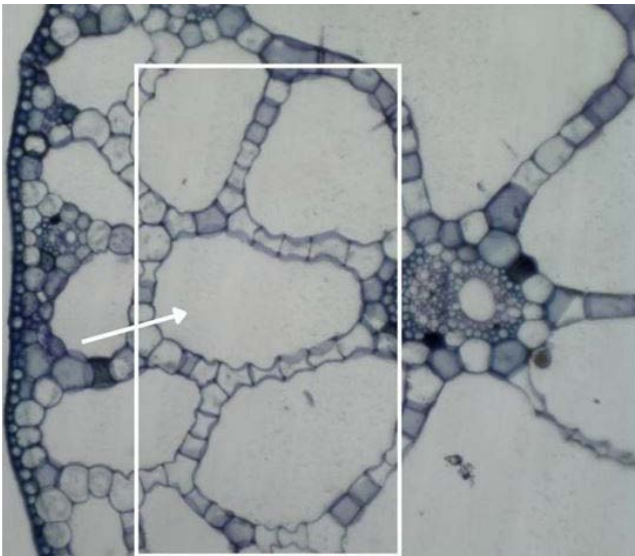
**Legenda:** Corte transversal da nervura mediana de *Fridericia platyphylla* (Cham) L. G. Lohmann.



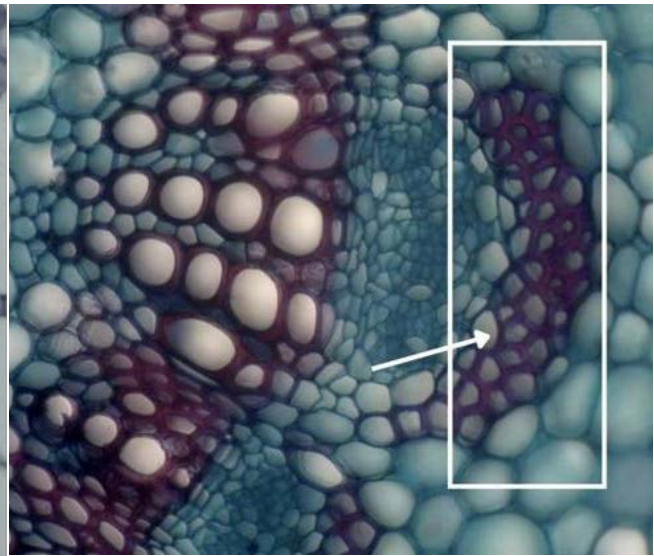
**Legenda:** Em destaque epiderme da folha de *Orchidaceae Phalaenopsis*.



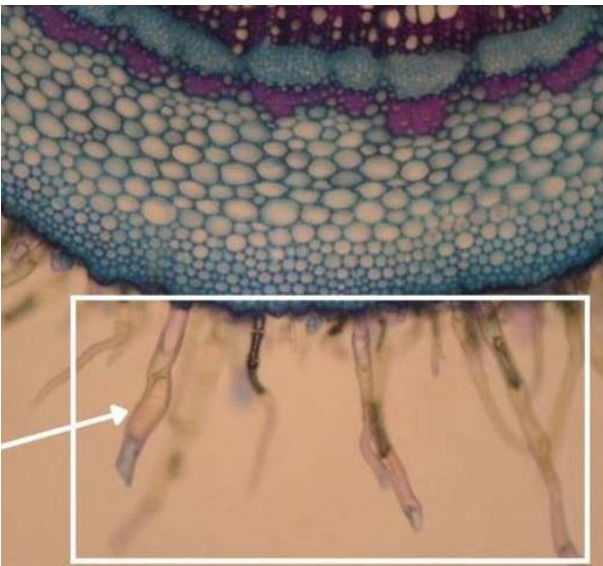
**Legenda:** Pecíolo de *Fridericia platyphylla* (Cham) L. G. Lohmann. Corte transversal com ênfase nos feixes vasculares.



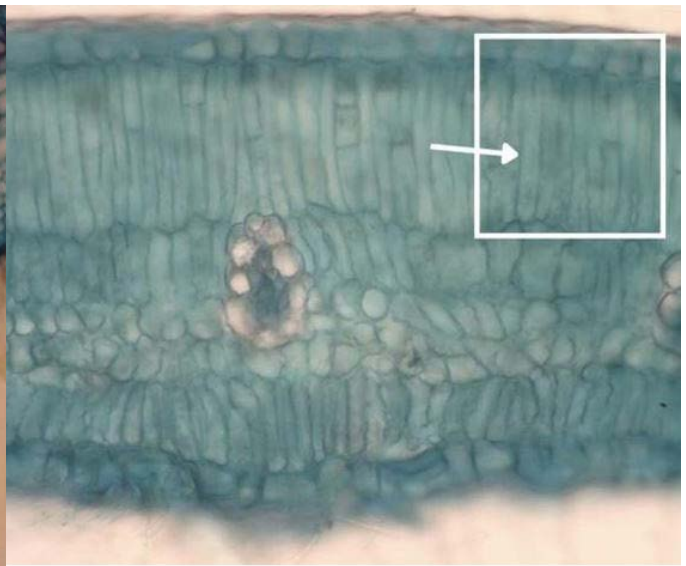
**Legenda:** Corte transversal do pecíolo de *Pouteria subovata* (Seub.) Ênfase no Parênquima aerífero.



**Legenda:** Corte transversal do Pecíolo de *Fridericia platyphylla* (Cham) L. G. Lohmann. com seta para o esclerênquima.



**Legenda:** Corte transversal do caule de *Vitex cymosa* com ênfase em tricomas.



**Legenda:** Corte transversal do mesófilo de *Cenostigma pyramidae* com ênfase no parênquima paliçádico.



## APÊNDICE

### Apêndice 1. Estrutura do jogo “Mestre da Botânica”.

# Mestre da Botânica

START

PROSEGUIR

## INSTRUÇÕES:

1. O JOGO CONTÉM 10 PERGUNTAS, CADA ACERTO VALE 1 PONTO.
2. LEIA A QUESTÃO COM CALMA, E ANALISE AS IMAGENS.
3. ENTÃO CLIQUE NA ALTERNATIVA QUE DESEJAR.
4. CONTABILIZE OS ACERTOS PARA ASSIM SOMAR NO FINAL.

BOA SORTE!

INICIAR JOGO

**1** As estruturas presentes em folhas e caules, formadas por um poro denominado ostíolo, circundado por células guarda e que realizam trocas gasosas com o meio, representados na imagem são?



COLORPLASTOS

CÉLULA VEGETAL

ESTÔMATOS

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

PRÓXIMA

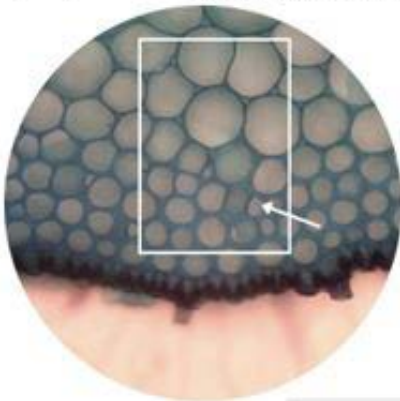
# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

2

Qual o tecido vegetal, representado na imagem, fornece sustentação mecânica e rigidez às plantas?



XILEMA

FLOEMA

COLÊNQUIMA

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

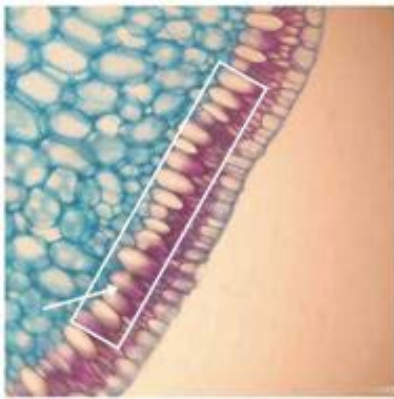
PRÓXIMA

# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

**3** Qual estrutura vegetal é composta por células vivas, justapostas e sem espaços entre elas, formando uma barreira protetora contra o ambiente externo?



COLÊNQUIMA

EPIDERME

PERIDERME



# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

PRÓXIMA

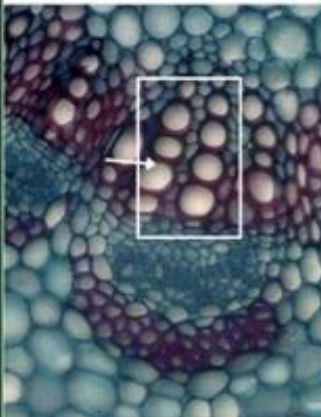
# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

4

Qual tecido vegetal é responsável pelo transporte de água e minerais da raiz para as folhas?



COLÊNQUIMA

EPIDERME

XILEMA

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

PRÓXIMA

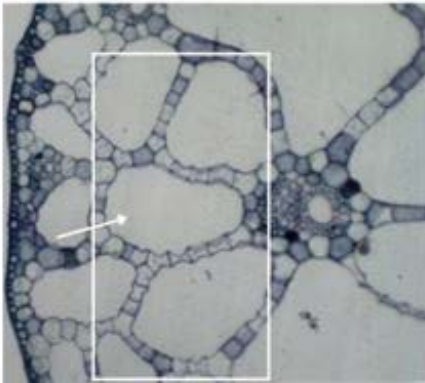
# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

5

Qual tecido vegetal composto por espaços intercelulares, armazena ar e é encontrado em plantas aquáticas ?



PARÊNQUIMA AMILÍFERO

PARÊNQUIMA AQUÍFERO

PARÊNQUIMA AERÍFERO

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

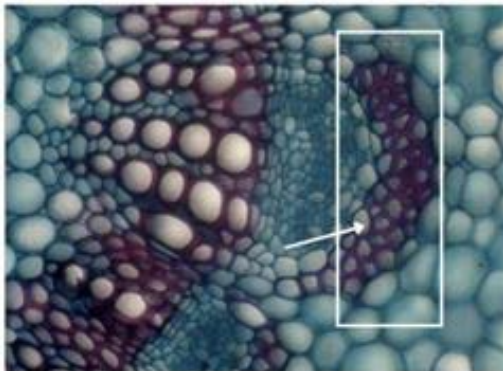
PRÓXIMA

# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

**6** Qual tecido vegetal é encontrado em caules e raízes, conferindo sustentação mecânica à planta?



COLÊNQUIMA

ESCLERÊNQUIMA

XILEMA

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

PRÓXIMA

# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

**7** O Súber, também conhecido como CASCA, é um tecido fundamental de revestimento secundário. Qual a principal função do Súber ?

PROTEÇÃO CONTRA  
PERDA DE ÁGUA

FOTOSSÍNTESE

SUSTENTAÇÃO MECÂNICA

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

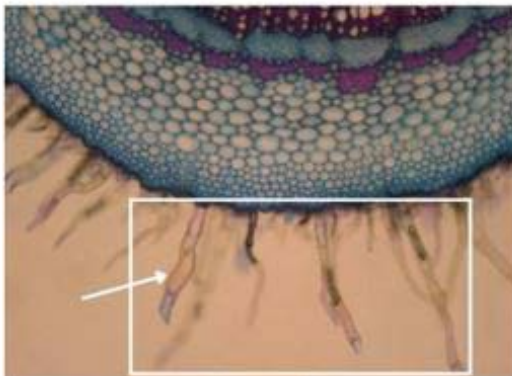
PRÓXIMA

# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

**8** As raízes das plantas absorvem água e minerais do solo, por meio de estruturas chamadas \_\_\_\_\_, e o tecido vegetal onde se encontram, é denominado \_\_\_\_\_ ?



ESTÔMATOS, COLÊNQUIMA

TRICOMAS, RIZODERME

ACÚLEOS, PARÊNQUIMA



# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

PRÓXIMA

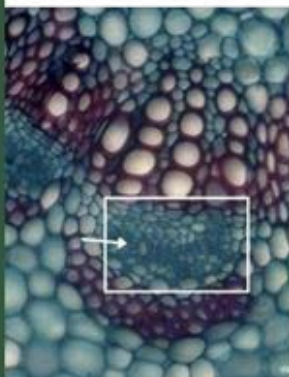
# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

9

Qual o tecido, representado na imagem, é responsável pelo transporte de seiva elaborada nas plantas?



FLOEMA

XILEMA

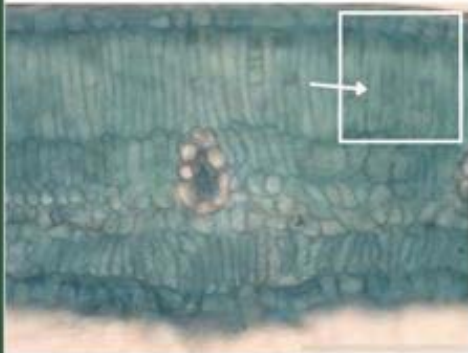
SÚBER

# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

PRÓXIMA

**10** Qual o tipo de parênquima representado na imagem, com células alongadas, responsável por grande parte da fotossíntese da planta ?



LACUNOSO

PALÍADICO

PREENCHIMENTO

# Parabéns!

Você acertou e ganhou 1 ponto.

CONFIRA SUA  
PONTUAÇÃO

# Resposta Errada!

Você consegue na próxima! 😊

**CONFIRA SUA  
PONTUAÇÃO**

**Olá, aventureiro**

**BOTÂNICO**

**SE VOCÊ OBTVEU:**

**DE 1 A 3 ACERTOS:** Sinto Muito, estude mais e tente na próxima!

**DE 5 A 7 ACERTOS:** Está indo bem, se dedique mais e você poderá ser um mestre!

**DE 8 A 10 ACERTOS:** Parabéns, você arrasou e agora é um mestre da Botânica!

**JOGAR NOVAMENTE**

# Utilização de perfis de solos como laboratórios didáticos para o ensino de disciplinas da área de meio ambiente e sustentabilidade

Diego Lima de Souza Cruz

*Professor Dr. do Ensino Básico Técnico e Tecnológico e do mestrado PROFEPT do IFRR. Rodovia Antonino Menezes da Silva (antiga RR 342), Orcid: 0000-0003-4935-3053*

Anna Bárbara de Souza Cruz

*Pesquisadora Dra. em solos e nutrição de plantas pela ESALQ/USP*

## RESUMO

No cotidiano do educador é recorrente a discussão acerca da dificuldade de desenvolver atividades práticas que despertem o interesse de alunos adolescentes. Isso decorre por diversos fatores, dentre eles a falta de conexão entre o que se tem na prática e o que é observado na realidade socioambiental local. Dentro deste viés, elaborou-se o presente projeto de pesquisa e ensino, cujo objetivo foi transformar o recurso natural solo em um laboratório didático com potencial de uso em diversas áreas de ensino. A hipótese norteadora da pesquisa é a de que, para conhecer profundamente este recurso natural, é necessária uma ampla gama de conhecimentos científicos e, também, saber como interconectar várias áreas do saber para melhor utilizar o solo. O trabalho se iniciou a partir do levantamento das classes de solos presentes no IFRR/Campus Amajari (norte de Roraima/Brasil). Após essa identificação, procedeu-se com a abertura de trincheiras de solo e coleta de amostras para análises em laboratórios especializados. Ao concluir todas as análises de solos, foram desenvolvidas atividades em diversas disciplinas nessas trincheiras, pois havia a possibilidade de se mostrar na prática como determinadas agentes naturais atuavam. Cita-se com práticas mais relevantes: 1) Os efeitos do pH, cátions e ânions no solo; 2) Identificação de macro e microrganismos (nódulos de leguminosas) na promoção da qualidade do solo; 3) Importância da conservação do solo e vegetação naturais no equilíbrio ambiental; 4) Comportamento do solo nas atividades de mecanização; 4) Relevo e clima como fatores de formação do solo. Concluiu-se ao final do trabalho que os alunos mostraram maior rendimento escolar e demonstraram interesse maior em áreas que possuíam dificuldades e pouco interesse.

**Palavras-chave:** ensino; espaços não formais; pedagogia; pedologia; meio ambiente.



## ABSTRACT

In the educator's daily routine, there is a recurring discussion about the difficulty of developing practical activities that arouse the interest of adolescent students. This is due to several factors, among them the lack of connection between what we have in practice and what is observed in the local socio-environmental reality. In this context, the present research and teaching project was elaborated, whose objective was to transform the natural soil resource into a didactic laboratory with potential for use in several teaching areas. The guiding hypothesis of the research is that, in order to know this natural resource deeply, a wide range of scientific knowledge is necessary and, also, to know how to interconnect various areas of knowledge to better use the soil. The work started from the survey of the soil classes present at the IFRR / Campus Amajari (north of Roraima / Brazil). After this identification, soil trenches were opened, and samples were collected for analysis in specialized laboratories. Upon completion of all soil analyzes, activities were carried out in several disciplines in these trenches, as there was a possibility to show in practice how certain natural agents acted. The most relevant practices are mentioned: 1) The effects of pH, cations and anions on the soil; 2) Identification of macro and microorganisms (worms, termites, nodules of legumes) in the promotion of soil quality; 3) Importance of conservation of natural soil and vegetation in environmental balance; 4) Soil behavior in mechanization activities; 4) Relief and climate as factors of soil formation. It was concluded at the end of the work that students showed higher academic performance and showed greater interest in areas that had difficulties and little interest.

**Keywords:** environment; pedology; pedagogy; teaching; non-formal spaces.

## INTRODUÇÃO

Os levantamentos pedológicos contribuem para o acervo de conhecimentos especializados na área de ciência do solo, bem como fornecem dados de aproveitamento imediato, sobretudo no que se relaciona à previsão de comportamento de uso dos solos em relação às práticas de manejo e conservação (Vale Júnior, 2020). Contêm informações que permitem repartir áreas heterogêneas em porções mais homogêneas, que apresentam a menor variabilidade possível, em função da escala de mapeamento, dos parâmetros de classificação e das características utilizadas para distinção dos solos. Tais informações são essenciais para a avaliação do potencial ou das limitações de algumas áreas no *Campus*, constituindo uma base de dados para estudos de viabilidade técnica e econômica de projetos e planejamento de uso, manejo e conservação de solos.

Em países desenvolvidos, os levantamentos pedológicos são executados de maneira planejada, obedecendo a uma programação de governo, para atendimento de projetos globais ou específicos, envolvendo o uso agrícola e não agrícola, conservação e recuperação dos solos, decisões localizadas em construção civil, expansão urbana, irrigação, drenagem, previsão de safras e planejamento de uso racional do solo em nível de propriedades (Muggler *et al.*, 2006). A maioria desses critérios podem ser aplicados para nossa realidade, visto que o *Campus* possui 256 hectares e ainda tem muito a expandir quanto a infraestrutura e desenvolvimento de polos experimentais.



Capacitar os estudantes quanto ao planejamento completo de uma propriedade e sua condução, é um dos objetivos básicos dos cursos técnicos agrícolas e tecnólogos, que visam preparar o estudante para situações reais e que, quase sempre em uma propriedade rural, envolvem situações multidisciplinares. Indicar a melhor cultura, melhores locais para instalação de tanques de piscicultura e pastagens, ou mesmo a construção de instalações rurais dependem direta ou indiretamente do conhecimento do recurso solo.

O desenvolvimento deste projeto constitui uma importante ferramenta de apoio ao ensino, atuando como facilitador da difusão de estudos na ciência do solo e dos recursos naturais em geral, e, além disso, é uma ferramenta didática, que dá possibilidade ao aluno a visualização em campo das características morfológicas dos solos e relação com a paisagem.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo fazer das trincheiras verdadeiros laboratórios de aulas práticas para toda disciplina que tiver correção o solo.

## DESENVOLVIMENTO DO TEXTO

### Procedimentos metodológicos

A área de estudo onde foram realizadas as coletas está localizada no IFRR-Campus Amajari, município a 160 km da capital Boa Vista – RR. Na área foi realizado um levantamento de campo à nível de reconhecimento e, para se obter informações do meio físico, serão feitas interpretações de imagens de satélite e observações das feições morfológicas da paisagem. Foram utilizados documentos cartográficos de geomorfologia, geologia, solos e vegetação que estavam disponíveis na Região de estudo.

Foram feitas observações de barrancos (perfis expostos), tradagens e abertura de trincheiras de 2x2 m de profundidade em trajetos para observação e descrição detalhada dos perfis de solo. Estas trincheiras foram abertas de acordo com a variação topográfica, buscando definir a configuração lateral dos horizontes do solo.

Os perfis foram descritos e coletados segundo Santos *et al.* (2013) e classificados de acordo com Embrapa (2013) e Soil Taxonomy (1999). A descrição morfológica segundo os manuais de campo continha os seguintes atributos: cor segundo a carta de Munsell, textura, estrutura, consistência, plasticidade, presença de raízes ou não, pedregosidade aparente ou não, atividade biológica aparente ou não, porosidade, cerosidade, nódulos e concreções minerais, presença de minerais magnéticos, horizontes principais, horizontes transicionais, tipo de transição entre horizontes e relevo local, tudo isso segundo ficha proposta pela Manual de descrição e coleta de solo no campo.

Após as descrições morfológicas foram feitas coletas de solo para realização das análises químicas e físicas básicas. A determinação dos atributos químicos foi feita para a matéria orgânica (MO), pH em água e KCl, fósforo assimilável, potássio, sódio, cálcio e magnésio trocáveis, alumínio e hidrogênio extraíveis segundo Embrapa (2011), e, posteriormente realizados os cálculos de soma de bases (valor S), capacidade de troca de cátions (valor T), porcentagem de saturação por bases (Valor V), saturação por alumínio (m) e saturação por sódio.

Após a classificação, foi confeccionado um mapa com as determinadas classes e seus limites, com legenda até o quarto nível categórico quanto a taxonomia e, uma legenda indicativa quanto à aptidão de cada classe. Foi feito um relatório de campo com a descrição geral das classes e seus principais atributos, uso e limitações. As trincheiras abertas foram ser mantidas como pontos de observação e estudo de cada classe, constituindo o laboratório de observação proposto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Conhecimento sobre os Solos do IFRR/*Campus* Amajari

O presente trabalho gerou um conhecimento e dados que terão implicações diretas no planejamento de atividades agropecuárias e construções de novas instalações na área deste *Campus*. Foi necessária uma prospecção em toda área para identificar possíveis classes de solos, e com isso, também foram identificados seus respectivos ambientes fitoecológicos. Até o momento da execução deste projeto não havia sido feito um levantamento como este dentro dessa área. Portanto, este trabalho constitui importante ferramenta de gestão, podendo ser utilizado para alocar novos plantios, criações animais ou construções de interesse do IFRR.

### Aulas do Curso Técnico em Trincheiras de Solo Integradas com outras Disciplinas

As trincheiras foram usadas pelo coordenador do projeto para ministrar aulas das disciplinas do curso técnico em agropecuária na modalidade EAD (Ensino à Distância) e presencial, além de terem sido usadas em aulas do curso superior de tecnologia em aquicultura do próprio *Campus*. As disciplinas envolvidas foram princípios de agroecologia, introdução à agropecuária, fertilidade e manejo do solo e mecanização agrícola. Nessas aulas foram abordados temas transversais entre as disciplinas de matemática, física, química e biologia, além de assuntos voltados às características do solo e seus ambientes no que tange à seu uso e manejo. Os alunos aprenderam na prática como as interações químicas da matéria orgânica pode influenciar na cor, estrutura e fertilidade do solo. Também foi enfatizado como ocorre a influência de plantas e animais sobre as características físicas do solo.

**Figura 1 - Alunos do curso técnico em agropecuária em EAD discutindo os fatores de formação do solo e suas implicações no manejo de culturas como a bananeira (ao fundo). Nesta ocasião foi feita uma abordagem sobre a importância da química do solo na condução deste plantio.**



Fonte: autoria própria

**Figura 2 - Discussão com os alunos do curso técnico em agropecuária em EAD sobre a influência da vegetação, relevo e clima sobre as características do solo, nesta ocasião, utilizando trincheira localizada em ambiente lacustre.**



Fonte: autoria própria.



**Figura 3 - Aula de agroecologia com alunos do curso técnico em agropecuária presencial do *Campus Amajari*. Nesta aula os alunos conheceram as fitofisionomias e seus respectivos solos presentes neste *Campus*. Também foi abordado o papel ambiental que o solo tem na preservação do ambiente.**



Fonte: autoria própria.

**Figura 4 - Aula de agroecologia com alunos do curso técnico em agropecuária presencial do *Campus Amajari*, tendo como objetivo identificar a aptidão dos solos. Para tanto, os alunos foram conduzidos à diversas áreas do *Campus Amajari* e refletiram sobre o ambiente que os cercavam e o solo em questão. Essa prática possui grande relevância no cenário amazônico, pois há muitas áreas onde não há aptidão para atividades agrícolas ou pecuárias que estão sendo utilizadas e causando danos ambientais.**



Fonte: autoria própria.

## Orientação de Estagiários

O presente trabalho também foi utilizado nas atividades de alunos estagiários do curso técnico em agropecuária presencial do *Campus Amajari*. Esses alunos participaram das etapas de abertura de trincheiras, coleta de solos e caracterização morfológica do

solo. Essas práticas constituem-se importantes no dia a dia dos profissionais de ciências agrárias e podem ser um diferencial no currículo destes alunos.

**Figura 5 - Alunos estagiários e auxiliar de campo (camisa azul) na coleta de amostras e descrição morfológica do solo.**



Fonte: autoria própria

## Aspectos Relacionados a Participação/Comportamento dos Estudantes

A ferramenta utilizada para o diagnóstico de satisfação dos alunos foi o feedback emitido voluntariamente por eles próprios após as aulas. Observou-se que tanto os alunos do curso técnico presencial (com idades entre 15 a 17) anos como os da modalidade EAD (idades variadas) foram receptivos à esta metodologia, sendo considerada por eles eficiente na transmissão e assimilação do conhecimento. Os alunos recomendaram que as aulas de outras disciplinas envolvessem também as trincheiras de solos bem como seus respectivos ambientes naturais, cada uma abordando temas relevantes para a sociedade. Os alunos alegaram que houve maior aprendizado de determinado tema em campo quando comparado ao mesmo ensinado em sala de aula, isso considerando o mesmo professor.

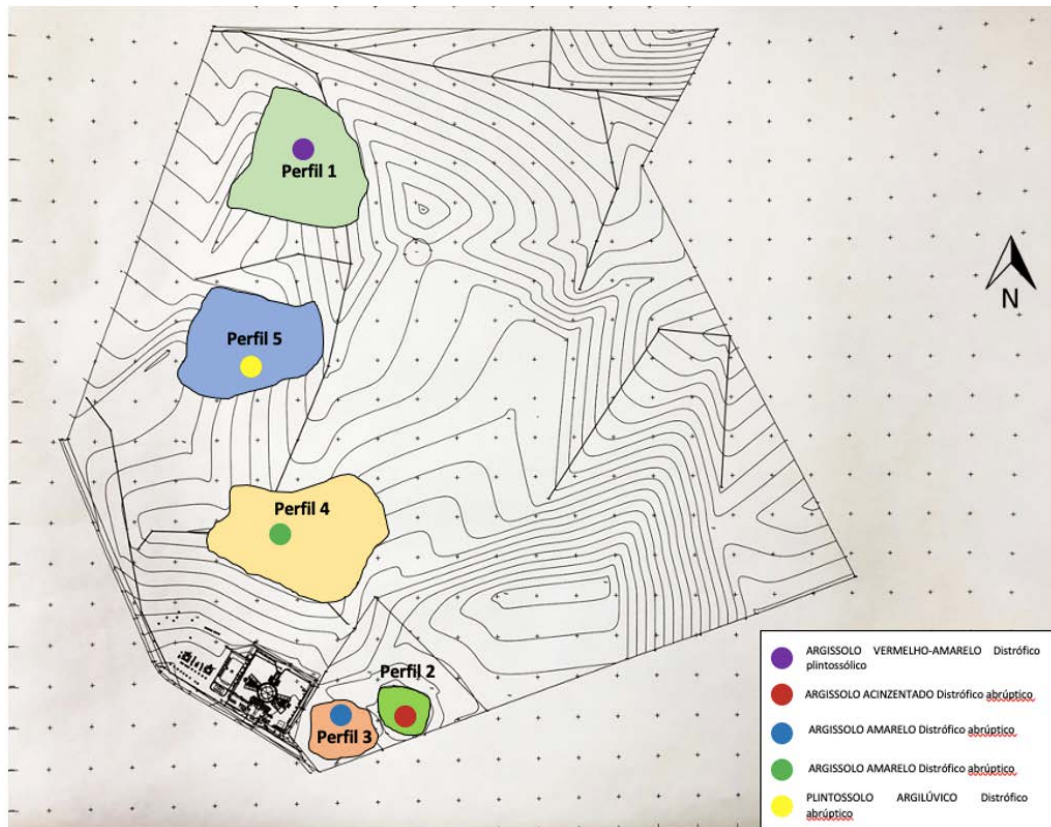
O fato de os alunos terem maior porcentagem de aprendizado em aulas práticas já é bem elucidado no campo da pedagogia, contudo, ministrar essas aulas de campo demandam maior tempo e recursos (humanos e financeiros) do professor e instituição, isso pode ser o motivo pelo qual muitos professores das disciplinas básicas não aderiram a essa metodologia.

Cabe ressaltar uma dificuldade enfrentada, que foi a resistência de alguns professores das disciplinas básicas em utilizar as trincheiras de solo aulas práticas. Alguns deles alegavam que o assunto abordado em sala de aula no período não era compatível com conhecimentos na ciência do solo. Esta resistência pode ter ocorrido devido à demanda de trabalho que isso geraria para o professor ou a limitações intrínsecas do professor em fazer correlações entre esses temas. A área de ciência do solo utiliza conceitos de muitas áreas



do conhecimento, porém, estabelecer essas ligações requer um tempo de planejamento que alguns professores não dispunham no momento.

**Figura 6 - Mapa com a localização de classes de solo na área do IFRR/Campus Amajari.**



Fonte: autoria própria.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido cumpriu com seu propósito de criar um recuso didático com potencial de ser utilizado em qualquer área do conhecimento. Durante as aulas o coordenador deste projeto indagava os alunos com a seguinte pergunta: “Encontre uma área do conhecimento que não esteja relacionada com o solo e lhe darei um ponto na prova”. Este questionamento está revestido com a filosofia norteadora dessa pesquisa, ou seja, todas as áreas do conhecimento são interligadas e essa é a chave para se criar uma prática interessante. Por fim, cabe aqui a pergunta final: o que há no cotidiano dos alunos que pode servir de como laboratório didático para auxiliar na prática docente?

## REFERÊNCIAS

EMBRAPA – Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro. 230p., 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2a ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 306 p.

MUGGLER C.C. *et al.*; Educação em solos: princípios, teoria e métodos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:733-740, 2006.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. Viçosa: SBCS, 2013. 100p.

SOIL SURVEY STAFF, Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2. ed. Washington DC: U.S. Government Printing Office, 1999.871 p. (Agriculture Handbook n. 436).

VALE JÚNIOR, J.F. do. Solos sob savanas de Roraima: Gênese, Classificação e relações ambientais/José Frutuoso do Vale Júnior, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. – Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010. 219p.:il.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho é resultado de um projeto aprovado no programa Inova em 2018, portanto, agradecemos à Pró-Reitoria de Ensino do IFRR. Também agradecemos ao diretor geral do Campus Amajari, o Sr. George Sterfson Barros e ao Diretor do Departamento Técnico, Dr. Patrício Ferreira Batista pelo apoio logístico na condução do trabalho em campo.

---

## **Organizador**

## **Adriano Mesquita Soares**

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

# Índice Remissivo

## A

abordagem técnica 196, 200  
aeradores 187, 188, 189, 191, 193, 194  
aéreo 102, 106, 107, 112  
aeronave 102, 105, 106, 107, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 118  
água 14, 15, 18, 20, 27, 28, 30, 37, 38, 39, 40, 53, 55, 61, 62, 63, 65, 66, 67, 72, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 89, 92, 93, 97, 104, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153  
alimentação 54, 90  
ambientais 14, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 56, 59, 60, 61, 64, 70, 71, 72  
ambiental 13, 14, 15, 16, 23, 26, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 187, 188, 194  
ambiente 14, 15, 16, 18, 23, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 56, 59, 60, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 71, 72, 74, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 90, 91, 92, 93, 96, 99, 120, 121, 128  
anatomia 160, 170, 201, 204, 210  
antibióticos 28, 59, 61, 62, 65, 67, 68, 69  
artropatias 180

## B

básico 16, 83, 135, 179, 199, 201  
biodiversidade 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 54, 56  
biologia 42, 44, 46, 159, 160, 180, 181, 183, 201, 211  
biopesticidas 89, 90, 97  
biotecnologia 14, 16, 20, 23

## C

cascas 85, 172, 174, 175, 176, 177  
células-tronco 180, 181, 182, 183, 185  
climáticas 37, 43, 45, 46, 79, 81  
compartimentos 59, 60  
contaminantes 14, 15, 22, 59, 60, 61, 64, 65, 68, 71  
corpos 53, 60, 61, 72, 83, 89, 120, 121, 128, 132, 133  
covid-19 59, 60, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76

---

cumaru 27, 28, 29

## D

diagnóstico 120, 122, 124, 136, 138, 139  
digitais 159, 160, 201, 209, 210  
doenças 14, 16, 37, 45, 60, 62, 63, 89, 90, 95  
doméstico 59, 61, 67, 69, 70

## E

economia verde 196, 197, 198, 199, 200  
ecossistêmicos 36, 37, 39, 40, 41, 43, 46  
educação 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47  
eficiência energética 187, 193, 194  
efluente 21, 59, 60, 61, 65, 67, 68, 69, 70  
emergentes 59, 60, 61, 64, 65, 68, 71  
ensino 38, 46, 201, 202, 203, 204, 205, 209, 210, 211  
etanol 21, 29, 172, 174, 176, 177, 178, 179

## F

físico-químicas 120, 124

## G

geração 15, 64, 85, 172, 174, 176, 177, 178, 179  
glifosato 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 101  
governança ambiental 196, 197, 198, 199, 200

## H

hídricos 43, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 87

## I

impacto 23, 36, 41, 43, 59, 60, 62, 63, 71, 72, 79, 84



---

inselbergues 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58

## J

jogos 201, 204, 209, 210

## L

lignocelulósico 172, 175, 176

## M

mapeamento 51, 52, 102, 105, 106, 112, 114, 115, 117, 118

maracujá 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

materiais 14, 15, 17

material 54, 85, 105, 129, 132, 172, 173, 175, 176

medicina 169, 180, 181, 183, 184

meio 14, 15, 16, 17, 21, 23, 31, 32, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 56, 60, 65, 72, 74, 79, 82, 83, 85, 90, 91, 93, 95, 96, 99, 104, 105, 120, 125, 130

mesenquimais 180, 181, 182, 183, 185

metais 22, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88

microrganismos 14, 15, 16, 17, 18, 20

mudanças 37, 43, 44, 68, 79

## P

parâmetros 68, 104, 116, 120, 122, 124, 125, 126, 127, 133, 135

pediplanação 49, 50

pesados 22, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88

pesticidas 80, 89, 90, 91, 97

processamento 14, 15

## Q

qualidade 22, 28, 38, 39, 40, 41, 57, 78, 79, 80, 83, 87, 105, 114, 119, 120, 121, 122, 128, 132, 133, 134,

---

135, , 136, 137, 138, 144, 147, 151, 152, 153

## R

recursos 27, 37, 40, 43, 54, 56, 57, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 87  
regenerativa 180, 181, 183, 184  
remotamente 102, 105, 106, 110, 111, 115, 118

## S

segunda 37, 64, 68, 172, 174, 176, 177, 178, 179  
serviços 36, 37, 39, 40, 41, 43, 46, 47  
sistema 6, 18, 33, 38, 54, 66, 95, 102, 106, 107, 110, 111, 112, 113, 118  
sistemas de tratamento 187, 194  
socioeconômico 79, 81  
solo 14, 15, 22, 37, 38, 39, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 66, 79, 81, 82, 84, 85, 86, 89, 92, 93, 97, 102, 103, 104, 105, 109, 115, 116, 117, 118, 119  
subprodutos 172, 173, 174, 175, 176, 179  
superior 27, 28, 33, 51, 56, 71, 163, 189, 201, 211  
sustentabilidade 13, 187, 188, 194, 196, 198, 199, 200

## T

tecidos 82, 92, 163, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 201, 204, 205, 207, 212  
tratamento de efluentes 187, 188, 189, 193, 194, 195  
tratamento de esgoto 187, 188, 193, 194  
tripulada 102

## V

vegetais 16, 32, 55, 88, 94, 96, 103, 163, 164, 201, 205, 207, 209, 210, 212  
vegetal 53, 54, 56, 85, 104, 105, 116, 141, 142, 160, 165, 169, 170, 201, 204, 205, 207, 210





**AYA EDITORA**  
**2024**