

**HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT:  
REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO  
CIENTÍFICA (PIBIC)**  
**Ciências Exatas e da Terra**  
**Volume 2**

**THIAGO NILTON ALVES PEREIRA  
RUHENA KELBER ABRÃO  
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO  
VÂNIA DE PAULA NEVES  
LÚCIA MORAES E SILVA  
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA  
(ORG)**

**HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT:  
REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO  
CIENTÍFICA (PIBIC)**  
**Ciências Exatas e da Terra**  
**Volume 2**

**THIAGO NILTON ALVES PEREIRA  
RUHENA KELBER ABRÃO  
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO  
VÂNIA DE PAULA NEVES  
LÚCIA MORAES E SILVA  
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA  
(ORG)**

THIAGO NILTON ALVES PEREIRA  
RUHENÁ KELBER ABRÃO  
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO  
VÂNIA DE PAULA NEVES  
LÚCIA MORAES E SILVA  
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA

# HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
VOLUME 2

THIAGO NILTON ALVES PEREIRA  
RUHENNA KELBER ABRÃO  
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO  
VÂNIA DE PAULA NEVES  
LÚCIA MORAES E SILVA  
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA

# HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

VOLUME 2

1º Edição  
Volume 1  
PALMAS  
2025

*Horizontes Científicos da UFT:  
Reflexões do XX Seminário de Iniciação Científica (Pibic)*

---

**Universidade Federal do Tocantins**  
Editora da Universidade Federal do Tocantins - EDUFT

Reitor	Conselho Editorial
Luís Eduardo Bovolato	Presidente Ruhena Kelber Abrão Ferreira
Vice-reitora	Membros do Conselho por Área
Marcelo Leineker Costa	Ciências Biológicas e da Saúde Ruhena Kelber Abrão Ferreira
Pró-Reitor de Administração e Finanças (PROAD)	Ciências Humanas, Letras e Artes Fernando José Ludwig
Carlos Alberto Moreira de Araújo	Ciências Sociais Aplicadas Ingrid Pereira de Assis
Pró-Reitor de Avaliação e Planejamento (PROAP)	Interdisciplinar
Eduardo Andrea Lemus Erasmo	Wilson Rogério dos Santos
Pró-Reitor de Assuntos Estudantis (PROEST)	
Kherlley Caxias Batista Barbosa	
Pró-Reitora de Extensão, Cultura e Assuntos Comunitários (PROEX)	
Maria Santana Ferreira dos Santos	
Pró-Reitora de Gestão e Desenvolvimento de Pessoas (PROGEDEP)	
Michelle Motilde Semigrem Lima Trombini Duarte	
Pró-Reitor de Graduação (PROGRAD)	
Eduardo José Cezari	
Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESQ)	
Karylleila dos Santos Andrade	
Pró-Reitor de Tecnologia e Comunicação (PROTIC)	
Werley Teixeira Reinaldo	

---

O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Da mesma forma, o conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu respectivo autor.

*Horizontes Científicos da UFT:  
Reflexões do XX Seminário de Iniciação Científica (Pibic)*

---



<http://www.abecbrasil.org.br>



<http://www.abeu.org.br>

---

Capa: Ruhena Kelber Abrão

Diagramação: Ana Júlia Campos Vieira

Ruhena Kelber Abrão

Revisão Linguística: os autores

Revisão Técnica: Diego Ebling do Nascimento

DOI 10.20873/\_eduft\_2025\_7

Ficha catalográfica

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins (SISBIB)**

I58        Horizontes Científicos da UFT: Reflexões do XX Seminário de Iniciação Científica (PIBIC) - Ciências Exatas e da Terra (volume 2). / Thiago Nilton Alves Pereira. Ruhena Kelber Abrão. José de Oliveira Melo Neto. Vânia de Paula Neves. Lúcia Moraes e Silva. Ana Júlia Campos Vieira – Palmas, TO: EdUFT, 2025.  
273p.

ISBN: 978-65-5390-151-3.

1. Iniciação Científica. 2. PIBIC. 3. Universidade. 4. Ciência. 5. Educação. I. Pereira, Thiago Nilton Alves. II Abrão, Ruhena Kelber. III Neto, José de Oliveira Melo. IV Neves, Vânia de Paula Neves. V. Silva, Lúcia Moraes. IV. Vieria, Ana Júlia Campos. Título.

**CDD 371.3**

---

**TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte**

## Apresentação

É com imenso entusiasmo que apresentamos esta coletânea comemorativa, criada para celebrar as duas décadas de história, impacto e realizações do Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIC) da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Estes livros simbolizam muito mais do que uma simples marca temporal; eles representam a consolidação de uma trajetória dedicada ao fortalecimento da pesquisa científica, da formação de talentos e do compromisso inabalável da UFT com a excelência acadêmica e a transformação social por meio do conhecimento.

Desde sua criação, o PIBIC vem desempenhando um papel central no estímulo à pesquisa científica e na formação de novas gerações de pesquisadores em diferentes áreas do conhecimento. Ao longo desses 20 anos, o Programa proporcionou a centenas de estudantes a oportunidade de vivenciar de perto a ciência em sua essência, despertando a curiosidade investigativa, incentivando o pensamento crítico e promovendo o desenvolvimento de competências e habilidades profícuas ao enfrentamento dos desafios acadêmicos e profissionais.

As contribuições do PIBIC para a sociedade vão além das publicações científicas, dos projetos inovadores e das apresentações em eventos acadêmicos. Elas se traduzem em impactos reais na qualidade de vida da população, no fortalecimento das políticas públicas e no desenvolvimento sustentável da região, principalmente em um território como o estado do Tocantins. Por meio de suas pesquisas, os estudantes e orientadores associados ao Programa não apenas geraram conhecimento, mas também construíram elos entre a Universidade e a Sociedade, reafirmando o papel indubitável da ciência como vetor de transformação.

Esta coletânea de livros, é, portanto, uma homenagem a todos aqueles que contribuíram para a construção dessa história de sucesso

na Universidade Federal do Tocantins: os professores orientadores, que, com dedicação e expertise, guiaram jovens pesquisadores em seus primeiros passos no universo científico; os estudantes, que, movidos pela curiosidade e determinação, desafiaram os limites do conhecimento; os gestores, que acreditaram na relevância do programa e garantiram seu fortalecimento ao longo dessas duas décadas; e as instituições parceiras, cujo apoio sempre foram fundamentais para a concretização de inúmeras iniciativas.

Ademais, o registro de momentos marcantes, os desafios superados e as conquistas alcançadas, esta obra pretende ser uma fonte de inspiração para as gerações futuras. O PIBIC/UFT não é apenas um Programa Acadêmico; é uma demonstração viva de como a ciência pode mudar vidas e transformar realidades.

Assim, reafirmamos nosso compromisso com a continuidade desse legado e com a ampliação das oportunidades de formação científica para os jovens pesquisadores. Esperamos que as histórias contadas e os resultados registrados sirvam como um convite para a reflexão e o engajamento, mostrando que investir em ciência e educação é, sem dúvidas, investir em um futuro mais justo, sustentável e próspero para todos.

Parabenizamos a Universidade Federal do Tocantins, o Programa Institucional de Iniciação Científica e todas (os) os envolvidos ao longo desses 20 anos. Que esta obra celebre as conquistas do passado, inspire as ações do presente e oriente as ações futuras. Viva a ciência, viva o conhecimento, viva o PIBIC/UFT!

Prof. Dr. Thiago Nilton Alves Pereira

Prof. Dr. José de Oliveira Melo Neto

## Prefácio

O conhecimento científico é historicamente a forma com a qual a humanidade conseguiu sistematizar o pensamento e o conhecimento, à época existente, de modo a alavancar diversos avanços desde a melhoria da qualidade de nossas vidas, passando pela erradicação de doenças antes letais até o aumento da expectativa de vida, até o conhecimento mais fundamental da estrutura da matéria e até mesmo do Universo em que habitamos e existimos. As ideias de Descartes, Bacon e outros até o método científico operacionalizado por Galileu Galilei e Isaac Newton, sendo revolucionado no início do século XX pelas ideias desenvolvidas ao longo da tentativa da Mecânica Quântica em explicar a estrutura da matéria, nos mostra o quanto importante foi e continua sendo essa construção humana no intuito de entender sua existência e comportamento.

Por óbvio que todos os nomes conhecidos por suas valorosas contribuições para o avanço do conhecimento científico, nas mais diversas áreas, não chegaram a tal ponto por simples inspiração ou acaso do destino. A construção do conhecimento, tal como se dá o científico, demanda bases e formação inicial e continuada com exigências e problemas a serem resolvidos cada vez maiores. Desta forma, a frase proferida por Isaac Newton quando questionado sobre como obteve a explicação para problemas canônicos de sua época, tal como a gravitação, não poderia ser mais clara: “Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes”.

Diferentemente do que se apresenta em boa parte da mídia, sejam em filmes, desenhos animados, quadrinhos e afins, os cientistas não são gênios nascidos para brilhar. Eles são pessoas normais de “carne e osso”, que precisam ter uma sólida base de formação e treinamento para entender frações de problemas e situações que serão resolvidas com a contribuição infinitesimal de cada um daqueles agentes do processo de produção do conhecimento científico. Portanto, a

formação de base é o que garante que qualquer povo ou nação tenha um desenvolvimento científico e, consequentemente, tecnológico capaz de se perpetuar no tempo e produzir valor agregado a ele, seja financeiro ou não.

Neste sentido, os programas de Iniciação Científica, seja sob fomento de órgãos públicos e, em muito menor escala, entes privados, é o que fundamenta a formação dos futuros cientistas de um país. A pesquisa desenvolvida por esses atores é aquela que alimenta o mais importante dos recursos na produção do conhecimento: o ser humano. Dinheiro pode comprar equipamentos de última geração, acesso a grandes laboratórios e estruturas capazes de gerar grande conhecimento, riqueza e prosperidade, mas nada disso tem utilidade sem seres humanos capazes de pensar de forma que nenhuma “inteligência” artificial ou computador pode processar.

Em seus vinte anos, o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Pesquisa da Universidade Federal do Tocantins, tem contribuído de forma crucial para a formação científica no estado e na região Norte do país. Cabe ressaltar que não constamos como grandes centros científicos devido a diversos anos de descaso e abandono dessa região e concentração de recursos e processos nos mesmos locais de sempre. Portanto, propiciar a formação de base científica aos jovens tocantinenses e os resultados dessas pesquisas aplicados ao estado é ainda mais valoroso quando considerado todo esse contexto histórico e socioeconômico.

Apesar de todas as dificuldades em termos orçamentários e de valorização da pesquisa nacional, os programas de iniciação científica são elementos de extrema valia para continuar a despertar nos estudantes de nossas instituições de ensino superior a curiosidade e a vontade de produzir conhecimento. E esses programas não seriam o que são se não estivessem sendo conduzidos por orientadores que, muitas vezes, tem que superar dificuldades de todas as ordens para propiciar a seus acadêmicos a participação e a iniciação no ambiente

de pesquisa. Assim sendo, de todos os elementos que compõem essa estrutura, são os orientadores e os jovens iniciantes à pesquisa a espinha dorsal e mola propulsora da formação científica e da produção do conhecimento científico.

Parabéns à Universidade Federal do Tocantins e a todos os seus pesquisadores pelos diversos projetos desenvolvidos e por proporcionar aos jovens tocantinenses a inclusão científica da qual nunca se ouve falar, mas que deveria ser de conhecimento de todos.

Prof. Dr. Ademar Paulo Junior

## Sumário

Capítulo 1	16
<b>OBTENÇÃO DE NANOCELULOSE A PARTIR DE BIOMASSAS RESIDUAIS UTILIZANDO LÍQUIDOS IÔNICOS</b>	
Julio Cesar Figueiredo de Oliveira	
Patrícia Martins Guarda	
Emerson Adriano Guarda	
Capítulo 2	27
<b>TECNOLOGIAS DE OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOCOPPOSTOS - 4006</b>	
José Otávio Rosa de Marins Negreiros	
Erlane da Rocha Fernandes	
Patrícia Martins Guarda	
Emerson Adriano Guarda	
Capítulo 3	38
<b>CATEDRAL NOSSA SENHORA DAS MERCÊS DE PORTO NACIONAL E DIGITALIZAÇÃO INTELIGENTE COM USO DE HBIM</b>	
Marcos Davi Ferreira Coelho	
Heliara Aparecida Costa	
Capítulo 4	49
<b>EXTRATOS HIDROALCOÓLICOS DE SUBPRODUTOS DA UVA E JABUTICABA: OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA</b>	
Geovana Marinho do Prado	
Maria Olivia dos Santos Oliveira	
Glêndara Aparecida de Souza Martins	
Capítulo 5	75
<b>CADASTRO CATEDRAL NOSSA SENHORA DAS MERCÊS DE PORTO NACIONAL COM USO DE TECNOLOGIAS BIM</b>	
Érika Torres Salles	
Heliara Aparecida Costa	
Capítulo 6	87
<b>AVALIAÇÃO DA MODELAGEM DE TÓPICOS APLICADA AO CONTEXTO DE DISCURSOS DOS DEPUTADOS FEDERAIS</b>	
Yuri de Sousa Nascimento	
Rafael Lima de Carvalho	

*Horizontes Científicos da UFT:  
Reflexões do XX Seminário de Iniciação Científica (Pibic)*

---

Capítulo 7	103
CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS E POTABILIDADE ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS NO PROJETO AGRÍCOLA SÃO JOÃO PORTO NACIONAL-TO	
Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues	
Moisés Laurence de Freitas Lima Junior	
Emerson Adriano Guarda	
Patrícia Martins Guarda	
Capítulo 8	120
TOLERÂNCIA À AGITAÇÃO MECÂNICA DO FUNGO <i>M. anisopliae</i> NA PRODUÇÃO DE LIPASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO	
Lucas Cunha Borges	
Lina María Grajales Agudelo	
Capítulo 9	138
MONITORAMENTO DE GLIFOSATO E QUALIDADE DA ÁGUA NO RIBEIRÃO TAQUARUÇU GRANDE E AFLUENTES E OS IMPACTOS NA BIODIVERSIDADE AMBIENTAL	
Júlia Neves Mantovani	
Moisés Laurence de Freitas Lima Junior	
Emerson Adriano Guarda	
Patrícia Martins Guarda	
Capítulo 10	161
RISCO DE CONTAMINAÇÃO EM COLÊMBOLOS DA ESPÉCIE <i>Sinella curviseta</i> PELO USO DE AGROTÓXICOS EM SOLOS DE REGIÕES DE AVANÇO AGRÍCOLA DO CERRADO	
Ícaro Thiago Almeida Tavares	
Emerson Adriano Guarda	
Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira	
Diogo Vinícius Soares da Silva	
Patrícia Martins Guarda	
Capítulo 11	174
MISTURA DE PARTÍCULAS DE DIVERSOS MEIOS PARTICULADOS ORGÂNICOS EM UM TAMBOR ROTATIVO	
Dante Ijarma Martins de Moraes	
Lina María Grajales Agudelo	
Capítulo 12	191
Produção de carvão ativado quimicamente com $H_3PO_4$ do endocarpo da bocaíva para remoção de contaminantes	
Ana Beatriz Alves Ribeiro	
Jucimara Silva	

*Horizontes Científicos da UFT:  
Reflexões do XX Seminário de Iniciação Científica (Pibic)*

---

Emerson Adriano Guarda  
Patrícia Martins Guarda

Capítulo 13	207
CONSTRUÇÃO DE UMA EXTRUSORA PARA RECICLAR GARRAFAS PLÁSTICAS EM FILAMENTÔ PARA IMPRESSÃO 3D	
Rafael de Oliveira Ribeiro	
Warley Gramacho da Silva	
Capítulo 14	217
CONTORNANDO PROBLEMAS NUMÉRICOS POR MEIO DE COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA DE ALTA PRECISÃO	
José Lucas Carvalho Silva	
Tanilson Dias dos Santos	
Capítulo 15	232
DESENVOLVIMENTO TÁTICO PARA A EQUIPE IBOTS DE FUTEBOL DE ROBÔS DA CATEGORIA DE SIMULAÇÃO 2D UTILIZANDO O AGENTE TREINADOR	
Érick Santos Marçal	
Tanilson Dias dos Santos	
Capítulo 16	250
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO INSETICIDA TIAMETOXAM SOBRE ORGANISMOS AQUÁTICOS DE DOIS NÍVEIS TRÓFICOS	
Carlos Eduardo de Oliveira Silva	
Vanessa Bezerra Menezes de Oliveira	
Capítulo 17	262
CLASSIFICAÇÃO DE FRUTOS USANDO REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS	
Armano Barros Alves Junior	
Warley Gramacho da Silva	

## Capítulo 1

# OBTENÇÃO DE NANOCELULOSE A PARTIR DE BIOMASSAS RESIDUAIS UTILIZANDO LÍQUIDOS IÔNICOS

Julio Cesar Figueiredo de Oliveira<sup>1</sup>  
Patrícia Martins Guarda<sup>2</sup>  
Emerson Adriano Guarda<sup>3</sup>

## RESUMO

A busca por métodos eficientes, econômicos e ambientalmente corretos para a síntese de compostos orgânicos é um desafio no campo da química verde. A celulose, como o composto orgânico mais abundante e renovável, tem recebido grande atenção devido à sua ampla aplicação em diversas indústrias. Nesse contexto, os líquidos iônicos (LIs) se destacam por sua capacidade de deslignificação da biomassa, facilitando a obtenção de nanocristais de celulose. Além disso, são considerados solventes ecológicos, com alta capacidade de reutilização e baixa pressão de vapor. A síntese de LIs foi realizada reagindo-se quantidades equimolares de hidróxido de colina e os aminoácidos arginina, glicina e lisina originando os bio-LIs derivados de aminoácidos, arginato de colina ([Arg][Cho]), glicinato de colina ([Gli][Cho]) e lisinato de colina ([Lis][Cho]). Para a otimização da síntese, foi aplicado um planejamento composto central rotacional (DCCR), variando o tempo (3 a 6 horas) e a temperatura (50°C a 90°C). O rendimento percentual foi avaliado, mostrando um resultado de 50,80% para o glicinato de colina, 31,10% para o lisinato de colina e 50,30% para o arginato de colina. Estes rendimentos poderão ser melhorados em trabalhos futuros.

**Palavras-chave:** biotecnologia, nanocelulose, Líquidos iônicos.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental, Pibic/FAPTO, Universidade Federal do Tocantins, [julio.oliveira@mail.uft.edu.br](mailto:julio.oliveira@mail.uft.edu.br)

<sup>2</sup> Doutora em Biotecnologia e Biodiversidade, docente do curso de Eng. de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins.

<sup>3</sup> Doutor em Química Orgânica, docente do curso de Eng. Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, [emersonprof@mail.uft.edu.br](mailto:emersonprof@mail.uft.edu.br).

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de métodos que sejam simultaneamente eficientes, econômicos e ambientalmente corretos continua a ser um grande desafio no campo da química verde, como apontado por Seddighi et al. (2015). Uma das principais metas desse campo é o uso de materiais residuais para contribuir com a preservação do ambiente, reforçando a importância de se buscar alternativas mais sustentáveis.

Nesse cenário, cresce o interesse por produtos de base biológica e por tecnologias de processamento inovadoras que possam reduzir a dependência de combustíveis fósseis e derivados do petróleo (Kargarzadeh et al., 2017). Entre esses materiais, a celulose destaca-se por sua abundância global, fácil acessibilidade e ampla distribuição. Além disso, suas propriedades versáteis possibilitam uma vasta gama de aplicações, que abrangem setores industriais tão variados como os farmacêuticos, biomédicos, alimentícios, de vestuário e da construção civil (Niu et al., 2017). A celulose, por ser renovável, biodegradável e de baixo custo, se torna uma solução promissora para promover processos mais sustentáveis (Franco et al., 2019).

A biomassa lignocelulósica, composta principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, tem atraído o interesse de diversas pesquisas, devido à sua capacidade de gerar compostos com alto valor agregado. Em particular, a celulose em escala nanométrica tem ganhado destaque por sua alta disponibilidade e renovabilidade, características essenciais em tecnologias que visam a sustentabilidade (Grzabka-Zasadzinska et al., 2019).

Nesse contexto, os líquidos iônicos (LIs) surgem como uma alternativa promissora. Esses compostos, formados por sais orgânicos ou misturas de sais que não se cristalizam à temperatura ambiente, atuam como solventes altamente eficazes na deslignificação da biomassa. Essa propriedade é crucial para facilitar a produção de nanocristais de celulose, tornando-a mais acessível para diversas aplicações (Chatzimitakos et al., 2016). Além disso, os LIs apresentam características vantajosas em relação aos solventes tradicionais, como

baixas pressões de vapor e baixa combustibilidade, sendo por isso considerados solventes “verdes” (Sajid, 2019). Sua capacidade de serem recuperados e reutilizados por métodos simples, como a evaporação e a osmose reversa, reforça ainda mais seu apelo como solventes ecologicamente corretos (Tan, 2015).

Por fim, a eficiência dos LIs no pré-tratamento de diversas biomassas, devido à sua habilidade de dissolver as paredes celulares e remover seletivamente hemicelulose e lignina sem degradar a estrutura da celulose, evidencia sua importância crescente no desenvolvimento de tecnologias verdes e reforça a necessidade de estudos aprofundados sobre esses compostos (Yoo et al., 2017).

## MÉTODO E MATERIAIS

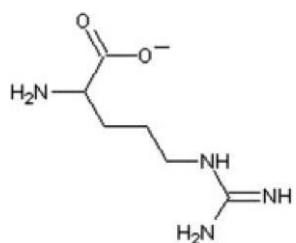
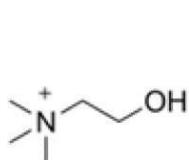
### Síntese de líquidos iônicos

Os líquidos iônicos (LIs) foram sintetizados de acordo com a metodologia descrita por Yoo et al. (2017). Todo o processo de síntese e identificação foi conduzido no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e Biocombustíveis (LAPEQ) da Universidade Federal do Tocantins (UFT).

Foram utilizados LIs classificados como bio-LIs, uma vez que têm como base aminoácidos, incluindo o arginato de colina ( $[\text{Arg}][\text{Cho}]$ ), o glicinato de colina ( $[\text{Gli}][\text{Cho}]$ ) e o lisinato de colina ( $[\text{Lis}][\text{Cho}]$ ). A Tabela 1 apresenta as estruturas químicas dos LIs empregados neste estudo.

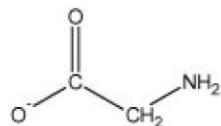
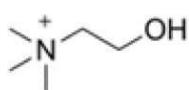
Tabela 1: Estrutura dos LIs sintetizados neste trabalho.

Estrutura do Cátion	Estrutura do Anion	Aminoácido	Líquido Iônico
		Lisina	Lisinato de Colina



Arginina

Arginato de colina



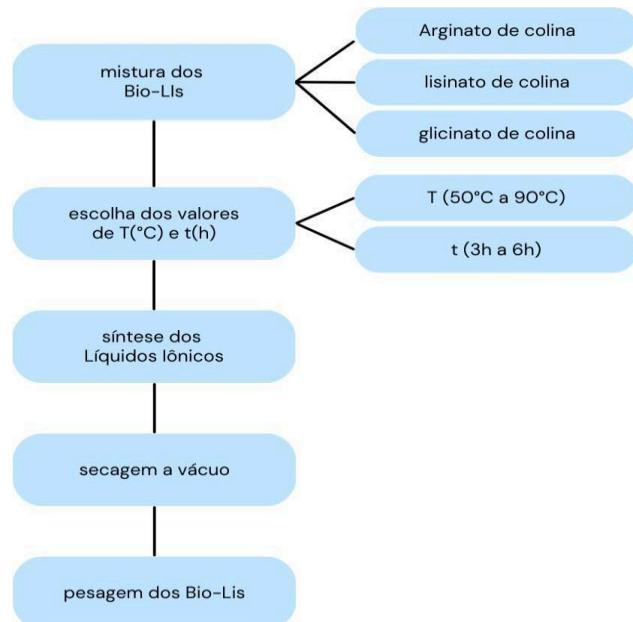
Glicina

Glicinato de colina

A metodologia adotada envolveu a reação de quantidades equimolares de hidróxido de colina com uma série de aminoácidos, sob agitação constante, ao longo do tempo e das temperaturas determinadas pelo planejamento experimental. Ao término do período reacional, os líquidos iônicos (LIs) foram submetidos a um processo de secagem sob vácuo, sendo posteriormente reservados para etapas subsequentes.

Para a otimização da síntese dos LIs, foi empregado um planejamento experimental, no qual os parâmetros de tempo e temperatura de reação foram variáveis. O intervalo de tempo foi estabelecido entre 3 e 6 horas, enquanto a temperatura variou entre 50°C e 90°C, conforme descrito por Yoo et al. (2017). Utilizou-se o método de planejamento composto central rotacional (DCCR), a fim de investigar as inter-relações entre os resultados obtidos e as variáveis experimentais, possibilitando a geração de gráficos de contorno ou de superfícies de resposta. A Figura 1 ilustra o fluxo de atividades conduzido para a execução do processo de otimização.

Figura 1: Fluxograma do processo de otimização dos Bio-LIs.



## DADOS E DISCUSSÃO

A otimização da síntese dos líquidos iônicos (LIs) glicinato de colina, lisinato de colina e arginato de colina foi conduzida por meio de um delineamento composto central rotacional (DCCR), que variou temperatura e tempo de reação. Os resultados mostraram tendências distintas para cada composto, com diferentes faixas de temperatura e tempo levando a rendimentos variados.

### Glicinato de Colina

Os dados experimentais indicaram que o maior rendimento do glicinato de colina foi obtido em 90°C e 3 horas de reação, resultando em 50,80%. No entanto, variações de temperatura e tempo demonstraram que o rendimento poderia cair significativamente em condições extremas, como no caso de 98°C por 4h30min, onde o rendimento foi de apenas 14,30%.

Tabela 1: Dados experimentais para a síntese do glicinato de colina.

Experimento	Temperatura(°C)	tempo (h:min)	rendimento %
1	50	03:00	1,20
2	90	03:00	50,80
3	50	06:00	25,00
4	90	03:00	0,00
5	42	04:30	34,9
6	98	04:30	14,30
7	70	02:22	0,10
8	70	06:37	4,30
9	70	04:30	17,00
10	70	04:30	21,10
11	70	04:30	23,00

A equação ajustada para o rendimento do glicinato de colina é:

$$Y = 20,18 - 1,44X1 + 2,41X2 + 1,23X1^2 - 10,29X2^2 - 6,61X1X2$$

Aqui, X1 e X2 são variáveis codificadas para a temperatura e o tempo, respectivamente. A otimização sugere que a melhor faixa de temperatura está em torno de 70°C e tempos de 4h30min, o que produz rendimentos entre 17% e 22%.

#### Lisinato de Colina

A síntese do lisinato de colina apresentou rendimentos mais baixos em comparação ao glicinato. O melhor rendimento (31,10%) foi obtido com 50°C e 6 horas de reação. Condições de temperaturas mais altas, como 90°C e 98°C, resultaram em rendimentos quase nulos, evidenciando que a temperatura é um fator crítico para esse composto.

Tabela 2: Dados experimentais para a síntese do lisinato de colina.

Experimento	temperatura(°C)	tempo (h)	rendimento %
1	50	03:00	0,00
2	90	03:00	0,00
3	50	06:00	31,10

4	90	06:00	0,00
5	42	04:30	0,00
6	98	04:30	0,50
7	70	02:23	1,00
8	70	06:33	0,00
9	70	04:30	1,80
10	70	04:30	6,50
11	70	04:30	0,00

Esses dados sugerem que para o lisinato de colina, condições de temperatura mais baixa e tempos de reação mais longos (6 horas) são ideais para maximizar o rendimento.

#### Arginato de Colina

O arginato de colina apresentou um comportamento semelhante ao lisinato, com rendimentos superiores sob condições de temperatura mais baixas. O maior rendimento, 50,3%, foi observado a 50°C e 6 horas de reação. No entanto, temperaturas mais altas, como 90°C e 98°C, resultaram em rendimentos bastante baixos.

Tabela 3: Dados experimentais para a síntese do arginato de colina.

Experimento	temperatura(°C)	tempo (h)	rendimento %
1	50	03:00	0,00
2	90	03:00	7,80
3	50	06:00	50,30
4	90	06:00	0,00
5	42	04:30	7,20
6	98	04:30	22,00
7	70	02:23	0,00
8	70	06:30	0,00
9	70	04:30	0,00
10	70	04:30	0,00

11

70

04:30

0,00

---

A análise mostra que temperaturas mais baixas (50°C) combinadas com tempos mais longos (6 horas) são as mais favoráveis para o arginato de colina.

Os dados experimentais para os três líquidos iônicos estudados revelam tendências distintas para otimização. Enquanto o glicinato de colina se beneficia de temperaturas mais elevadas, como 90°C, e tempos moderados, o lisinato e o arginato de colina apresentam melhores rendimentos em temperaturas mais baixas e tempos mais longos.

Os gráficos de contorno gerados a partir dos dados DCCR indicam que para o glicinato de colina, o rendimento ótimo se encontra em torno de 70°C e tempos de 4 a 5 horas. Para o lisinato e arginato, os melhores resultados foram observados em 50°C com 6 horas de reação.

Em geral, porém, os rendimentos ficaram abaixo dos reportados na literatura (YOO et al. 2017). Isto pode estar relacionado a vários fatores, como as faixas escolhidas para o tempo e a temperatura terem sido pouco abrangentes, utilização do hidróxido decolina e não docloreto, normalmente utilizado, entre outros.

Mesmo assim a aplicação do DCCR permitiu uma análise eficiente das variáveis experimentais, de forma ágil, com poucos experimentos, resultando na determinação das melhores condições para maximizar os rendimentos de cada um dos compostos, com base nas variáveis de temperatura e tempo de reação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou a otimização da síntese de três líquidos iônicos (LIs) – glicinato de colina, lisinato de colina e arginato de colina – utilizando o planejamento composto central rotacional (DCCR). A análise dos dados permitiu identificar as condições ideais de temperatura e tempo de reação para maximizar o rendimento de cada um dos compostos.

Os resultados indicaram que o glicinato de colina apresentou o melhor rendimento em temperaturas mais altas (90°C), com tempo de reação de 3 horas, atingindo 50,80%. Entretanto, variações extremas de temperatura e tempo reduziram significativamente o rendimento, sugerindo que a faixa de temperatura ideal para este composto se encontra em torno de 70°C, com tempos de reação intermediários de cerca de 4h30min.

Por outro lado, o lisinato de colina e o arginato de colina mostraram comportamentos distintos. Ambos os compostos tiveram seus melhores rendimentos em condições de temperatura mais baixa (50°C) e tempos de reação mais longos (6 horas). O lisinato de colina alcançou seu maior rendimento de 31,10%, enquanto o arginato de colina atingiu 50,30% nas mesmas condições de temperatura e tempo. A sensibilidade desses compostos à temperatura foi evidente, com rendimentos significativamente reduzidos em temperaturas acima de 70°C.

De modo geral, a aplicação do DCCR mostrou-se eficaz para identificar tendências para as condições ideais de síntese para cada um dos LIs, minimizando o número de experimentos necessários e otimizando o processo. Também revelou que o controle preciso da temperatura e do tempo de reação é crucial para maximizar os rendimentos, principalmente para compostos como o lisinato e o arginato, que respondem melhor a temperaturas mais baixas. Mesmo com os baixos rendimentos, no geral, pode-se concluir que a otimização de condições experimentais específicas é uma ferramenta muito útil para melhorar a eficiência de processos químicos envolvendo líquidos iônicos.

Além disso, o presente estudo corrobora a viabilidade dos líquidos iônicos como alternativas promissoras e ecologicamente corretas para diversas aplicações, alinhando-se às diretrizes da química verde e à busca por processos mais sustentáveis na síntese de compostos orgânicos.

## REFERÊNCIAS

- BHUTTO, K. Q.; KHANJI, H.; RASHID, A.; TAUQEER A.; AQEEL, A. B.; SADIA, K.; GUANGREN, Y. Insight into progress in pre-treatment of lignocellulosic biomass Abdul Waheed. *Energy*, v. 122, pp. 724-745, (2017).
- CHATZIMITAKOS, T.; BINELLAS, C.; MAIDATSI, K.; STALIKAS, C. Magnetic ionic liquid in stirring-assisted drop-breakup microextraction: Proof-of-concept extraction of phenolic endocrine disrupters and acidic pharmaceuticals. *Analytica Chimica Acta*, v. 910, pp. 53-59, (2016).
- FAÇANHA, L. O.; MARINHO, A. Programas sociais: efetividade, eficiência e eficácia como dimensões operacionais da avaliação. UFRJ: Instituto de Economia (IE), IPEA, 2000
- FRANCO, T. S.; POTULSKIA, D. C.; VIANAB, L. C.; FORVILLEA, E.; DE ANDRADE, A. S.; DE MUNIZ, G. I. B.. Nanocellulose obtained from residues of peach palm extraction (*Bactris gasipaes*). *Carbohydrate Polymers*, v. 218, pp. 8-19, (2019).
- GRZĄBKA-ZASADZIŃSKA, A.; SKRZYPczAK, A. & BORYSIAK, S. The influence of the cation type of ionic liquid on the production of nanocrystalline cellulose and mechanical properties of chitosan-based biocomposites. *Cellulose*, v. 26, pp.4827-4840, (2019).
- KARGARZADEH, H.; JOHAR, N.; AHMAD, I. Starch biocomposite film reinforced by multiscale rice husk fiber. *Composites Science and Technology*, v. 151, pp. 147-155, (2017).
- KORBAN, A.M.; MOSHIKUR, R. M.; WAKABAYASHI, R.; TAHARA, Y.; MONIRUZZAMAN, M.; KAMIYA, N.; GOTO, M. "Synthesis and Characterization of Choline-fatty-acid-based Ionic Liquids: A New Biocompatible Surfactant." *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 551, pp. 72- 80, (2019).
- NIU, F.; LI, M.; HUANG, Q.; ZHANG, X.; PAN, W.; YANG, J.; LI, J. The characteristic and dispersion stability of nanocellulose produced by mixed acid hydrolysis and ultrasonic assistance. *Carbohydrate Polymers*, v.165, pp.197-204, (2017).
- SAJID, M. Magnetic ionic liquids in analytical sample preparation: A literature Review. *Trends in Analytical Chemistry*, v.113, pp.210-223, (2019).
- SEDDIGHI, M.; SHIRINI, F.; MAMAGHANI, M. Brønsted acidic ionic liquid supported on rice husk ash (RHA-[ $\text{pmim}$ ]HSO<sub>4</sub>): A highly efficient and reusable catalyst for the synthesis of 1-(benzothiazolylamino)phenylmethyl- 2-naphthols. *Comptes Rendus Chimie* v.18, pp.573-580, (2015).
- SISTLA, Y. S. & KHANNA, A. CO<sub>2</sub> absorption studies in amino acid-anion based ionic liquids. *Chemical Engineering Journal*, v. 273, pp.

268-276,(2015).

TAN, X.Y.; HAMID, A.S.B.; LAI, C.W. Preparation of high crystallinity cellulose nanocrystals (CNCs) by ionic liquid solvolysis. *Biomass Bioenergy*, v. 81, pp. 584-591, (2015).

VANDERPLAATAS, G. N. Numerical optimization techniques for engineering design:with applications. NewYork: McGraw-Hill, Inc, 1984.

VILLAR-CHAVERO M. M.; DOMÍNGUEZ, J. C.; ALONSO, V. M.; RIGUAL, V.; MERCEDES, O.; RODRIGUEZ, F. Viscoelastic properties of physical cellulosic bionogels of cholinium lysinate. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.133. pp. 262-269, (2019).

YOO, C.G.; PU, Y.; RAGAUSKAS, A.J. Ionic liquids: Promising Green Solvents for Lignocellulosic Biomass Utilization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v.5, pp. 5-11, (2017).

## Capítulo 2

# TECNOLOGIAS DE OBTENÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOCOMPOSTOS – 4006

José Otávio Rosa de Marins Negreiros<sup>(1)</sup>  
Erlane da Rocha Fernandes<sup>(2)</sup>  
Patrícia Martins Guarda<sup>(3)</sup>  
Emerson Adriano Guarda<sup>(4)</sup>

### RESUMO

A *Oenocarpus bataua*, conhecida como patauá, é uma palmeira amazônica cujos frutos são amplamente utilizados pelas comunidades ribeirinhas na produção de vinho e óleo. A polpa representa cerca de 40% do peso do fruto e é rica em lipídeos, proteínas e fibras, sendo o óleo extraído utilizado em medicamentos, cosméticos e alimentos. Estudos destacam que a polpa de patauá possui uma atividade antioxidante superior à do açaí, devido à presença de antocianinas, taninos condensados, estilbenos e ácidos fenólicos. No entanto, a literatura atual ainda não aborda detalhadamente a composição fitoquímica e os parâmetros colorimétricos do fruto. Este projeto visa preencher essas lacunas ao determinar a composição fitoquímica do patauá e avaliar sua atividade antioxidante, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada das suas propriedades nutricionais e funcionais. Foram realizados testes colorimétricos, teor de antocianinas e carotenóides. O fruto apresentou bons teores de carotenóides em sua polpa, e antocianinas, principalmente em sua casca.

**Palavras-chave:** patauá, composição química; biocompostos.

---

(1) Graduando em Engenharia da Alimentos, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins.

(2) Doutoranda PPG-Bionorte, Universidade federal do Tocantins.

(3) Doutora em Biotecnologia e Biodiversidade, docente do curso de Eng. de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins.

(4) Doutor em Química Orgânica, docente do curso de Eng. Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, [emersonprof@mail.ufc.edu.br](mailto:emersonprof@mail.ufc.edu.br).

## INTRODUÇÃO

A *Oenocarpus bataua*, popularmente conhecida como patauá, é uma palmeira que se desenvolve na região amazônica, utilizada pelas comunidades ribeirinhas como alimento em forma de vinho e óleo (Rodrigues, 2019).

Seus frutos demoram de 10 a 14 meses para se desenvolver e ficar prontos para a colheita. Possuem formato redondo, anelado e, quando maduro, apresentam cor púrpura escura, costumando ser recoberto por uma camada cerosa e esbranquiçada com polpa que pode ser branca, esverdeada ou roxa (Vieira et al., 2015). Seu óleo é extraído a partir dessas frutas e usado em medicamentos, cosméticos e alimentos (Souza et al. 2012).

Darnet e colaboradores (2011) relataram que a polpa de patauá contribui com cerca de 40% do peso do fruto e possui nutrientes importantes com destaque em seu teor de lipídeos 14,4%, proteínas 4,9% e fibras 29,7%. Santos e colaboradores (2019) em uma pesquisa para avaliação dos parâmetros de qualidade do óleo de patauá, destacaram a presença de ácido oleico ( $\omega$ -9), ácido linoleico ( $\omega$ -6) e ácido linolênico ( $\omega$ -3) com teores de 71,79%, 4,72% e 0,51% respectivamente. Rezaire e colaboradores (2014) relataram que a polpa desse fruto apresentou uma atividade antioxidante mais forte do que o açaí nos testes TEAC e FRAP, que pode ser explicada pela presença de antocianinas, taninos condensados, estilbenos e ácidos fenólicos em sua composição, apresentando-se como uma matéria prima promissora para as indústrias cosmética, alimentícia e farmacêutica.

Apesar da existência de algumas pesquisas acerca da composição desse fruto, pouco ainda se conhece acerca de sua composição e não foram encontrados, na literatura consultada, estudos sobre seus parâmetros colorimétricos.

Considerando que a determinação da composição fitoquímica e sua capacidade antioxidante são de suma importância para conhecermos a contribuição nutricional e funcional dos alimentos, propõe-se por meio desse projeto, determinar a composição

fitoquímica para posteriormente realizar os testes de atividade antioxidante dos frutos do patauá. Este trabalho é parte de uma tese de doutorado do Programa de Pós Graduação da Rede Bionorte, da UFT.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Obtenção da matéria prima

Os frutos foram adquiridos no comércio local da cidade de Xapuri - AC, armazenados em freezer ou sala climatizada. Foi realizada a identificação da espécie por confecção por exsicata. Foram escolhidos os frutos maduros, selecionados segundo a presença de injúrias mecânicas e sanidade, lavados em água corrente, imersos em solução de hipoclorito de sódio 10 ppm por 30 minutos, lavados em água corrente novamente e colocados em água morna para amolecimento da polpa. Após o amolecimento da polpa, a mesma foi extraída em despolpadeira de aço inoxidável, malha 1,5 mm, marca Itametal, tomando todos os cuidados de higiene e sanidade. Em seguida, toda a matéria-prima foi condicionada em sacos plásticos transparentes e levadas ao congelamento em frízer a -18°C.

### Análise colorimétrica

Os parâmetros de cor foram determinados à 25°C usando um colorímetro digital (Minolta CR4000, fonte de luz D65 em espaço de cor L\*a\*b\* do sistema CIE L\*a\*b\*). A partir dos valores de L\*a\*b\* será calculado o ângulo H\* e o índice de saturação croma (C\*) pela equação1.

$$H^* = \arctan b^*/a^* \quad \text{e} \quad C^* = (a^*2 + b^*2)^{1/2}$$

(Eq.1)

### Antocianinas

O teor de antocianinas foi determinado pelo método do pH diferencial (GIUSTI; WROSLTAD,2001), em que se dissolveu o extrato em dois sistemas tampão: cloreto de potássio pH 1,0 (0,025M) e acetato de

sódio pH 4,5 (0,4M). Foram adicionados 2,5 mL da correspondente solução tampão pH=1,0 a 1,5 mL da amostra de extrato e 2,5 mL da solução tampão pH=4,5 a 1,5mL da amostra do extrato. O extrato foi elaborado com 0,5 g de polpa em 10 mL de etanol 50% acidificado com HCl 0,1%. As leituras das absorbâncias foram realizadas a 510 e 700 nm em epectrofotômetro. A absorbância foi calculada a partir da equação 2.

$$A = (A_{510nm} - A_{700nm})\rho H_{1,0} - (A_{510nm} - A_{700nm})\rho H_4 \quad (\text{Eq.2})$$

A concentração do pigmento no extrato foi calculada e representada em cianidina-3-glicosídio (PM=449,2) por meio da equação 3.

$$\text{Antocianinas} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{A \times PM \times FD \times 100}{(\varepsilon \times 1)} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

A= absorbância; PM= peso molecular; FD= fator de diluição (volume final da solução/volume da amostra);  $\varepsilon$  = absorvividades molar (22900).

### Carotenoides

Foram tomadas amostras de 5,0 g de polpa. A cada amostra adicionaram-se 40 ml de acetona, procedendo-se, em seguida, uma agitação de mistura. Em seguida, procedeu-se a filtragem em algodão para funil de separação. Cada amostra foi lavada com acetona por mais três vezes, objetivando a total extração dos pigmentos. Ao funil de separação foram adicionados 45 ml de éter de petróleo. Os pigmentos foram então transferidos, em pequenas frações seguidas de água destilada, para o funil de separação, descartando-se a fase inferior. As amostras foram lavadas com água por mais quatro vezes para a remoção total da acetona. A solução dos pigmentos em éter de petróleo foi transferida para um balão volumétrico, completando-se o volume para 100 ml com éter de petróleo. A leitura foi feita em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 450 nm que

corresponde ao comprimento de onda do  $\beta$ -caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

O teor de  $\beta$ -caroteno foi calculado segundo a equação 4, onde A é a absorbância da solução no comprimento de onda específico, V é o volume final da solução, A<sub>1cm<sup>1%</sup></sub> é o coeficiente de absorvidade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, no caso o éter de petróleo, e M é a massa da amostra tomada para análise, em g. O resultado foi expresso em  $\mu\text{g.g}^{-1}$  de polpa fresca.

$$\mu\text{g/g} = \frac{(A \times V \times 1.000.000)}{(A_{1\text{cm}^{1\%}} \times M \times 100)}$$

## DADOS E DISCUSSÃO

Após a preparação dos frutos do patauá, a polpa e a casca foram descongeladas e colocadas na estufa para a secagem com o intuito de proceder as experimentações. A figura 1 mostra o fruto (a), a polpa extraída (b) e os resíduos da extração da polpa(c).

Antes de realizar as análises, as sementes passaram pelo processo de prensagem, por meio de uma prensa hidráulica modelo TIL MARCON - MPH30HP, Figura 2, depois reservadas em um freezer a -18°C.

Figura 1: Fruto do patauá (a), polpa extraída dos frutos (b) e os resíduos da extração da polpa(c)



Figura 2: Semente prensada



Parte das amostras de polpa, casca e semente foram submetidas a secagem. As amostras da semente precisaram passar pelo processo de moagem, onde utilizou-se um moinho de facas tipo willye STAR FT 50/6 (Figura 3).

Figura 3: Semente moída



Foram realizados os levantamentos das metodologias e material necessário para realização das análises. Alguns materiais foram adquiridos para viabilizar a execução das análises.

Após feito isso, foi realizada a análise por Colorimetria. Os resultados obtidos para estas análises estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados da análise por Colorimetria

Parâmetros	Casca	Polpa	Semente
L*	36,74	36,17	49,61
a*	5,02	4,21	19,52
b*	4,11	3,89	12,59
C	6,50	5,78	23,27
H	40,53	42,53	33,26

Fonte: autor

De acordo aos resultados descritos, pode-se observar que a semente do patauá utilizada neste estudo apresentou uma luminosidade maior (L\*) (49,61), pouco observada em frutos de coloração escura, por exemplo o açaí, como demonstrado na análise realizada por Samara Kelly que obteve o resultado L\* (36,92). (KELLY, S. et al., 2021)

Quanto a cromaticidade da semente C\* (23,27), como também as suas angularidades (H) (33,26), observa-se que estas, estão próximas ao alaranjado denso, propiciando a possibilidade da alta presença de carotenóides que contribuem para a saúde dos olhos. Assim como sua cor escura que proporciona a existência abundante de antioxidantes que são essenciais para o combate às doenças crônicas. Em contraponto a estes resultados, os encontrados por Samara Kelly, expressam que quanto mais altos os valores de C\*, mais viva é a cor observada, assim como os valores de (H) que indicaram que o caroço do açaí estão mais próximo de uma cor avermelhada. (KELLY, S. et al., 2021)

A partir dos resultados obtidos na Colorimetria, partiu-se para as determinações de carotenóides. Após as análises, foram obtidos os resultados apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Resultado da análise de Carotenóides em µg/g.

Casca	2,29 ± 0,11
Polpa	2,74 ± 0,25
Semente	-

Fonte: autor

Pelos resultados encontrados o patauá apresenta, um bom teor de carotenóides em sua polpa e casca, se comparado ao limite encontrado por Rosso (2006) em polpa de açaí, entre 0,112 – 0,165 mg/100g (ou 1,12 – 1,65 µg/g). Dessa forma o patauá se apresenta com grande potencial para obtenção natural desse tipo de composto. Os carotenóides têm benefícios para a saúde associados à diminuição do risco de várias doenças, incluindo câncer, doenças cardiovasculares, degeneração macular relacionada à idade e fotossensibilidade associada à exposição aos raios UV (COOPERSTONE, L; SCHWARTZ, S.J, 2024).

A presença das antocianinas, importantes para a dieta humana, foram também observadas em quantidade considerável neste estudo, como pode-se ver na tabela 3.

Tabela 3: Resultado da análise de Antocianinas em mg/100g.

Casca	35,63
Polpa	7,12
Semente	10,67

Fonte: autor

Seus resultados observados foram menores na polpa (7,12 mg/100g) e maiores na casca (35,63 mg/100g) se equiparado ao encontrado por Guimarães (2013) em um experimento com farinha de bacaba, onde foi verificado (29,4mg/100g). O que significa a maior contribuição do fruto quanto aos benefícios por ele trazidos. Os pigmentos como as antocianinas são benéficos à saúde, pois favorecem a circulação sanguínea e protegem o organismo contra a arteriosclerose (SOUZA, 2000).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A semente do patauá, com sua elevada luminosidade e cromaticidade específica, próxima ao alaranjado denso, afirma uma alta concentração de carotenóides, que são benéficos para a saúde ocular.

Sua cor escura, também indica a possibilidade abundante de antioxidantes, essenciais para combater doenças crônicas.

Características estas que em comparação ao açaí, fruto popularmente conhecido na região amazônica, que tem uma coloração mais avermelhada e menor luminosidade, a semente do patauá, oferece vantagens nutricionais distintas, destacando-se por seu potencial em promover a saúde e proteger contra doenças cardiovasculares entre outras, devido à sua rica composição de nutrientes.

## REFERÊNCIAS

ARCON, R.P. Methods in Enzymology. New York, v. 19, p. 226- 234, 1979.  
BARROS, S. K. A.; Caracterização e aplicação de farinha de açaí e bacaba em massa alimentícia. 2020. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

[s.l]: s.n. Disponível em:

<<https://repositorio.ift.edu.br/bitstream/11612/4119/1/Samara%20Kelly%20Amaral%20Barros%20 -%20Disserta%c3%a7%c3%a3o.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2024.

COOPERSTONE, L; SCHWARTZ, S.J.; Chapter 23 - Insights into the health benefits of carotenoids, Editor(s): Ralf Schweiggert. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages (Second Edition), Woodhead Publishing, 2024, Pages 555-575.

CORREA, B. M.; BALDISSERA, L.; BARBOSA, F. R., RIBEIRO, E. B.; ANDRIGHETTI, C. R.; DA SILVA A. J.; DE SOUSA V. D. M. Centesimal and mineral composition and antioxidant activity of the bacaba fruit peel. Bioscience Journal, v. 35 n. 2, 2019.

DARNET, S. H., SILVA, L. H. M., RODRIGUES, A. M. C., LINS, R. T. Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and pataua (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the Amazon region. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 31(2): 488-491, abr.-jun. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612011000200032>

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Anthocyanins: characterization and measurement with uv- visible spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E. Current protocols in food analytical chemistry. New York: John Wiley & Sons, 2001. Unit. F1.2, p. 1-13.

GUIMARÃES, A. C. G. Potencial funcional e nutricional de farinhas de Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e Bacaba (*Oenocarpus bacaba*). 2013. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

HORSZWALD, A., ANDLAUER, W. Characterisation of bioactive compounds in berry juices by traditional photometric and modern microplate methods. *Journal of Berry Research*, v. 1, n. 4, p. 189 - 199, 2011.

KELLY, S. et al. Obtenção e caracterização de farinhas de caroço de açaí (*Euterpe Oleracea*) e de casca de bacaba (*Oenocarpus Bacaba*). *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e2710413724–e2710413724, 29 mar. 2021.

MEYER, J. M. Teor e composição de ácidos graxos de óleos de frutos de palmeiras nativas. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, V. B. Caracterização química e atividades antioxidante, anti-lipase e anti dpp-4 de *Oxalis cordata* A. St.-Hil. (azedinha), *Plinia phitrantha* (Kiaersk.) Sobral (jabuticaba branca) e *Xylopia aromatic* (Lam.) Mart. (pimenta-de-macaco). 200p. Tese para obtenção do Grau de Doutor em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v.26, p.1231-1237, 1999.

REZAIER, A., ROBINSON, J. C., BEREAU, D., VERBAERE, A., SOMMERER, N., KHAN, M. K., DURAND, P., PROST, E.; FILS-LYCAON, B. Amazonian palm *Oenocarpus bataua* ("patawa"): Chemical and biological antioxidant activity: Phytochemical composition. *Food Chemistry*. 149(1), 62-70. PMid:24295677. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.077>  
Rio Branco, UFAC. v.6, n.1, p. 184-199, 2019.

RODRIGUES, J. J. P.; LEMOS, R. G.; LIMA, R. A. O uso do extrato aquoso da casca do patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.) como indicador natural ácido-base para o ensino de química.

SAJEBTT, RODRIGUEZ-AMAYA., D. B. A guide to carotenoid analysis in food. Washington: International Life Sciences Institute, 2001. 71 p.

ROSSO, V. V. Composição de carotenóides e antocianinas em acerola. Estabilidade e atividade antioxidante em sistemas-modelo de extratos antociânicos de acerola e de açaí. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos – FEA. Unicamp, Campinas, SP, 2006.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; JIMENEZ, J. P.; CALIXTO, F. D. S. Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Comunicado Técnico Embrapa, 127: 1-4, 2007.

SOUZA J. N. S. Caractérisation et quantification des anthocyanines du fruit de l'açayer (*Euterpe oleracea*). Louvain-la-Neuve: Univ.Catholique de Louvain, 2000. 72 p.

SOUZA, R.S.; ANDRADE, S.J.; COSTA, S.S. Effect of the harvest date on the chemical composition of patauá (*Oenocarpus patua* Mart.) fruits from a forest reserve in the Brazilian Amazon. International Journal of Agronomy, 2012: 1-6.

SWAIN, T. & HILLIS, W.E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 10, n. 1, p. 63- 68, 1959.

VIEIRA, T. S., SEIXAS, F. R. F., & CINTRA, D. E. C. Caracterização físico-química e da fração lipídica do patauá proveniente da aldeia baixa verde no município de Alto Alegre dos Parecis-RO. Revista Científica da UNESC, 13(16), 95-103, 2015.

VILLELA, G.G.; BACILA, M. & TASTALDI, H. Técnicas e experimentos de bioquímica. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1973, p.527.

## FINANCIAMENTO

Quero expressar minha sincera gratidão ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil que através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) possibilitou o início e o desenrolar deste trabalho que trouxe encontros e crescimento científico de grande valia na minha formação acadêmica.

## Capítulo 3

# CATEDRAL NOSSA SENHORA DAS MERCÊS DE PORTO NACIONAL E DIGITALIZAÇÃO INTELIGENTE COM USO DE HBIM

Marcos Davi Ferreira Coelho<sup>1</sup>  
Heliara Aparecida Costa<sup>2</sup>

## RESUMO

A documentação de um patrimônio histórico-cultural edificado tem como propósito a preservação e manutenção de seu estado físico, e em consequência, de sua influência cultural. Esta pesquisa tem como objetivo a utilização da metodologia de *Historic Building Information Modeling* (HBIM) para a geração de um modelo digital paramétrico da Catedral Nossa Senhora das Mercês, localizada no município de Porto Nacional, no estado do Tocantins. O projeto envolveu um grupo de pesquisadores que realizaram um levantamento detalhado dos dados arquitetônicos da catedral e utilizando técnicas de modelagem digital, produziram um modelo detalhado em BIM (*Building Information Modeling*), que foi disponibilizado para acesso online ao público via *website*. O método aplicado foi: (1) Revisão bibliográfica; (2) Levantamento de campo e de informações arquitetônicas junto ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN); (3) Modelagem digital em BIM; (4) Publicação dos resultados. Esta pesquisa visa contribuir como registro para futuras manutenções na preservação do patrimônio arquitetônico e com pesquisas na mesma área.

**Palavras-chave:** HBIM; Patrimônio; Porto Nacional (TO).

---

<sup>1</sup> Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Pibic, Universidade Federal do Tocantins, davi.coelho@uft.edu.br

<sup>2</sup> Doutora em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Tocantins, heliara@uft.edu.br

## INTRODUÇÃO

O Decreto-Lei nº 25, apesar de sua data de retificação datando ao ano de 1937, ainda é o principal material legal vigente para proteção e denominação do patrimônio histórico brasileiro, ele especifica que o patrimônio histórico-cultural é um bem material ou imaterial que possui como uma de suas principais características sua vinculação a fatos memoráveis da história brasileira ou sua importância etnográfica (BRASIL, 1937). Outra característica pertencente a um patrimônio histórico é ser referência na identidade e memória de grupos que formam a sociedade brasileira (IPHAN, 2018). Buscando um contexto local, a legislação tocantinense determina que uma construção determinada como bem histórico será considerada patrimônio histórico ou cultural em razão da sua representatividade de determinada época ou estilo, e por sua vinculação à história local e da contribuição seja para as artes, cultura, criação e implementação do estado do Tocantins (TOCANTINS, 1993).

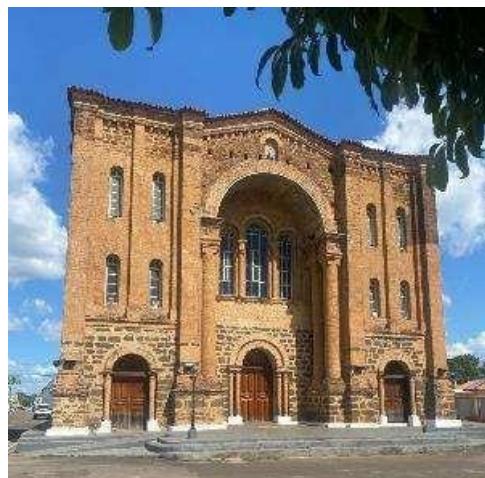
Como forma de proteção legal ao patrimônio cultural material, uma das ferramentas utilizadas é o tombamento, que possui como base também o Decreto-lei nº 25, ratificado em 30 de novembro de 1937: “As coisas tombadas não poderão, em caso nenhum ser destruídas, demolidas ou mutiladas [...]” (BRASIL, 1937) e ainda o item VI do artigo 1º da lei que institui o Programa Nacional de Apoio à Cultura – PRONAC: “VI - preservar os bens materiais e imateriais do patrimônio cultural e histórico brasileiro” (BRASIL, 1991), que, por sua vez, possui respaldo na Constituição Federal do Brasil, no item IV do artigo 23: “IV — impedir a evasão, a destruição e a descaracterização de obras de arte e de outros bens de valor histórico, artístico ou cultural” (BRASIL, 1988). A Catedral Nossa Senhora das Mercês, principal foco de trabalho desta pesquisa, faz parte do centro histórico de Porto Nacional e teve seu tombamento aprovado pelo Conselho Consultivo do Patrimônio Cultural do Iphan em 2008 (IPHAN, 2008).

O presente trabalho tem por objetivo a modelagem digital em BIM para o registro da Catedral Nossa Senhora das Mercês (Fig. 1),

patrimônio importante para a comunidade e região de Porto Nacional e representante do patrimônio histórico tocantinense. O modelo será realizado por meio de ferramentas que utilizam o processo BIM (*Building Information Modeling*), com o desenvolvimento de dados e informações geométricas da catedral. O processo BIM é definido pela Organização Internacional para Padronização (2016, p.1) como “uso de uma representação digital compartilhada de um objeto construído (incluindo edifícios, pontes, estradas, processos plantas etc.) para facilitar os processos de projeto, construção e operação para formar uma base confiável para decisões.

A documentação de edifícios históricos por meio de tecnologias BIM possui como atribuição o termo *Historic building information modelling*, ou HBIM, termo usado pela primeira vez por Murphy et al. em 2009 (MURPHY; MCGOVERN; PAVIA, 2009). A documentação em HBIM de um edifício histórico fornece levantamento e modelagem paramétrica do ponto de vista geométrico, informações a respeito de material e outros subelementos de um objeto, sendo importante na gestão de alterações que podem ocorrer ao longo do tempo (YANG et al, 2020). O HBIM aprimora a documentação, tornando-a mais fundamentada e completa, e nisso, a gestão de bens e a preservação do patrimônio arquitetônico se transverte de forma mais eficaz (TOLENTINO, 2018).

Figura 1 - Catedral Nossa Senhora das Mercês

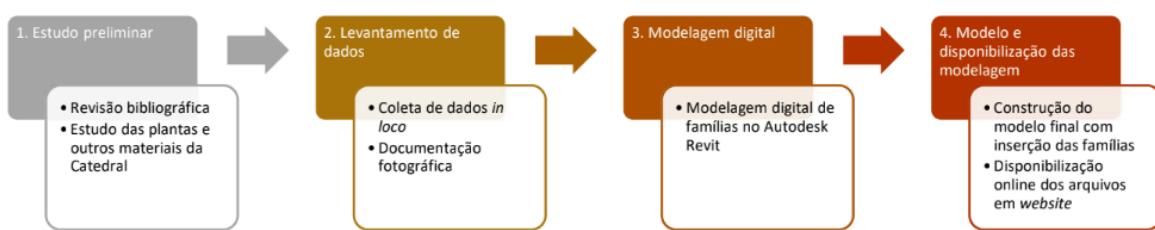


Fonte: autor (2024)

## MÉTODO E MATERIAIS

A pesquisa se classifica como qualitativa, com etapas de: (1) Estudo Preliminar: revisão bibliográfica e coleta de informações; (2) Levantamento de dados: *in loco*; (3) Modelagem Digital: construção do modelo BIM; (4) Resultado do modelo e divulgação: resultados e disponibilização (Figura 2).

**Figura 2 – Etapas da Pesquisa**



Fonte: autor (2024)

### 1º. Etapa – Estudo preliminar:

Foram realizadas reuniões semanais que tinham como propósito a revisão e estudo das plantas-baixas, elevações e fachadas do material feito pelo IPHAN e, em conjunto, uma apresentação aos alunos membros do grupo de pesquisa sobre os métodos de documentação e proteção de patrimônio histórico utilizando ferramentas BIM, como o HBIM, tanto no Brasil, como internacionalmente.

Também foram revisados artigos científicos, monografias, dissertações e teses sobre o assunto em HBIM e preservação digital de patrimônio, em que foram revisados autores como Groetelaars (2015), Tolentino (2018), Costa (2019), e Yang (2020). O material em Autocad do IPHAN foi revisado utilizando o software de desenho assistido por computador Autodesk Autocad 2024.

### 2º. Etapa – Levantamentos de dados:

No levantamento de campo foram utilizadas técnicas de medição manual, com ferramentas como trenas de aço e trenas a laser, junto das medições são feitos os croquis. Como grande maioria dos objetos

modelados estão presentes no arquivo do projeto cedido pelo Iphan, também utilizamos o *software* Autocad 2024 para conferir algumas medidas de difícil alcance. Por se tratar de um edifício de grande escala física, a pesquisa teve o envolvimento de 4 discentes e da docente orientadora. Algumas etapas foram realizadas em conjunto e outras de forma comum, mas todas com o mesmo propósito (Fig. 3).

Figura 3 - Medição de detalhes do capitel de uma coluna



Fonte: Dias (2024).

Para melhor reconhecimento e uma modelagem mais precisa, foram feitos registros fotográficos da catedral e de seus objetos, como pilares, janelas, portas, detalhes ornamentais, estrutura de telhado, entre muitos outros. Para essa documentação fotográfica interna foram utilizados aparelhos de *smartphone*; para a externa, foi usado o projeto em Autocad do Iphan e drone.

Alguns elementos estavam em locais de difícil acesso ao grupo, como lâmpadas, janelas muito altas e telhado ou objetos de grande dimensão, como os pilares na fachada da Catedral, não obtiveram suas medidas feitas de maneira direta. Esses objetos foram modelados baseados nas plantas baixas, cortes e elevações do material em Autocad pelo IPHAN.

Ao total, foram feitas sete visitas ao local para levantamento de dados:

1. 15 de dezembro de 2023 – Primeira visita com objetivo de familiarização do objeto de estudo e recolher medidas das colunas internas da nave central da catedral;

2. 09 de fevereiro de 2024 – Teve como propósito tomar medidas das esquadrias;

3. 23 de fevereiro de 2024 – Levantamento de medidas das duas colunas do mezanino, e aferição de outras medidas tomadas das esquadrias e seus detalhes;

4. 01 de março de 2024 – Levantamento topográfico do entorno da edificação utilizando como material o aparelho de estação total;

5. 18 de abril de 2024 – Documentação fotográfica da estrutura do telhado e levantamento de medidas das esquadrias dos fundos da edificação;

6. 13 de junho de 2024 – Uso do equipamento de drone para documentação fotográfica da catedral e entorno;

7. 18 de julho de 2024 – Novamente uso do equipamento de drone para aperfeiçoar a documentação fotográfica, e uso do drone para a criação de uma nuvem de pontos da catedral.

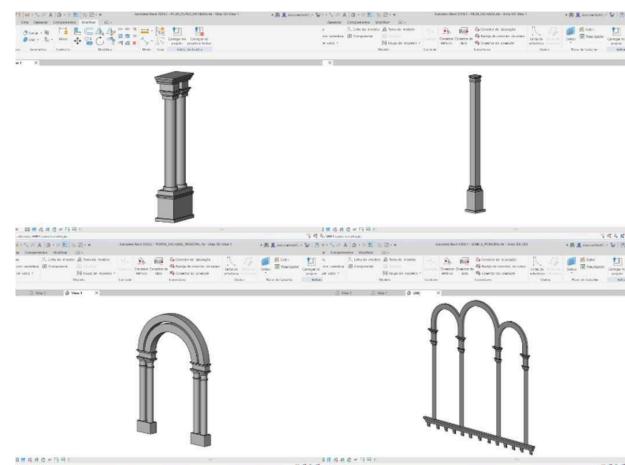
### 3º. Etapa – Modelagem digital:

Nesta etapa, foi utilizado pelo grupo *software Autodesk Revit 2024, software* para a documentação e execução de projetos (AUTODESK, 2024a), que oferece uma ferramenta de modelagem paramétrica de objetos. Os elementos de projeto no Revit são chamados de famílias, que se trata de “[...] um grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades chamado de parâmetros e uma representação gráfica relacionada.” (AUTODESK, 2024b, s.p). Com os dados obtidos na 2ª etapa, o grupo dividiu as atividades, ficando cada membro responsável pela modelagem de determinadas famílias.

Por meio do Revit, a modelagem foi desenvolvida com *template* de famílias carregáveis, que possuem por natureza de alta personalização e que podem ser criadas e modificadas no próprio programa (AUTODESK, 2024b). Posteriormente, estas famílias foram integradas ao modelo do edifício da catedral gerado no mesmo software. Nos casos de objetos que foram inteiramente modelados utilizando o modelo do arquivo Autocad, o Revit oferece uma ferramenta de importação, uma vez que no ambiente de trabalho do Revit as plantas baixas, elevações

e/ou fachadas foram utilizadas como esboço. Entre algumas das famílias modeladas pelo autor destaca-se elementos da fachada principal como: pilares da fachada da nave central; pilares das fachadas das naves laterais; portal em pedra da porta principal e detalhes ornamentais da janela da nave central (Fig. 4).

**Figura 4 – Modelagens dos elementos da fachada.**

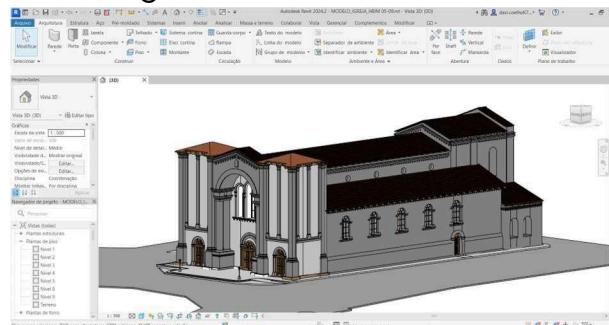


Fonte: autor (2024).

#### 4º. Etapa – Finalização do modelo e disponibilização da modelagem:

Os membros do grupo de pesquisa, em conjunto, fizeram a compatibilização das famílias modeladas junto ao modelo central da Catedral, adicionando portas, janelas, colunas, telhado, detalhes construtivos, entre muitas outras (Fig. 5). Essa etapa é a finalização do principal objetivo por trás dessa pesquisa: a documentação digital por ferramentas BIM da Catedral de Nossa Senhora das Mercês. Nesta etapa, também foram modelados pelos membros da pesquisa detalhes ornamentais e de informações topográficas adquiridas com o uso do aparelho de estação total.

**Figura 5 - Modelo digital da Catedral Nossa Senhora das Mercês**



Fonte: autor (2024).

## DADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa tem como resultado a modelagem digital da Catedral Nossa Senhora das Mercês e sua disponibilização online, que oferece uma documentação aprimorada e acessível da edificação e seus componentes em formato BIM. O modelo desenvolvido fornece uma base útil para pesquisas futuras e auxilia na preservação e no estudo do patrimônio histórico arquitetônico.

A documentação da catedral usando BIM permite que pesquisadores e instituições responsáveis pela preservação da catedral tenham acesso a dados precisos sobre a edificação. O repositório digital de objetos criados é uma fonte de material inédito que pode ser utilizado como referência em estudos sobre métodos de preservação digital e gestão do patrimônio no estado do Tocantins. Isso também contribui significativamente para a preservação do centro histórico de Porto Nacional.

A pesquisa mostra que o uso de tecnologias digitais para documentar e preservar patrimônios arquitetônicos no Tocantins é um marco. O modelo digital desenvolvido não apenas aumenta a visibilidade do valor histórico da catedral, mas também permite a implementação de métodos de manutenção e gestão mais precisos e eficientes acerca do patrimônio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Catedral Nossa Senhora das Mercês é um dos mais importantes patrimônios históricos arquitetônicos no estado do Tocantins, tanto pela sua influência cultural local quanto pela composição arquitetônica singular; e sua preservação é muito importante para manter seu lugar de referência no estado como patrimônio histórico-cultural.

Como forma de preservação do patrimônio histórico edificado, o método de *Historic building information modelling* (HBIM) é um dos mais importantes para a documentação digital precisa de edificações

históricas, que fornece informações significativas para a manutenção e proteção de patrimônio histórico edificado. Esta pesquisa busca a aplicação desta metodologia para a geração de uma documentação digital com foco na preservação da Catedral Nossa Senhora das Mercês, a fim de contribuir para futuras documentações de patrimônio histórico-cultural edificado.

Dificuldades encontradas pela falta de equipamento necessário, como maneiras de verificar medidas de objetos em locais de difícil acesso pela altura ou de objetos de grande extensão, foram contornadas ao utilizar como referência o material em desenho assistido por computador (CAD) fornecido pelo Instituto de Patrimônio Histórico Artístico Nacional (IPHAN).

Devido a dimensão da edificação, através da colaboração entre os membros do grupo na modelagem de objetos da Catedral Nossa Senhora das Mercês utilizando a tecnologia de *Building Information Modelling* (BIM), foram modelados objetos individuais por cada membro do grupo que resultou na produção de um modelo digital detalhado da catedral.

Através da criação de um repositório digital em um *website* do modelo e objetos digitais modelados em BIM (em desenvolvimento), este trabalho servirá de fonte para futuras pesquisas no ramo da documentação digital de patrimônio, e, ademais, poderá ser utilizada por órgãos responsáveis pela manutenção do patrimônio histórico da Catedral Nossa Senhora das Mercês.

A pesquisa coloca em evidência a necessidade de uma documentação digital de patrimônios históricos edificados, para sua preservação e reforçar o valor cultural que estes apresentam na comunidade local a qual pertencem; e com isso, influenciar futuros projetos que almejam o ramo de documentação digital em ferramentas BIM de patrimônio histórico edificado.

## REFERÊNCIAS

AUTODESK. Bem-vindo ao aprendizado do Revit. 2024a. Disponível em:

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/PTB/?guid=GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29>. Acesso em: 22 de agosto de 2024.

AUTODESK. Ferramentas de BIM para arquitetos 2024b. Disponível em:

<https://www.autodesk.com/br/products/revit/architecture>. Acesso em: 01 de setembro de 2024.

BRASIL. Decreto-Lei nº25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0025.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0025.htm). Acesso em: 22 de agosto de 2024.

BRASIL. Lei n.º 8.313 de 23 de dezembro de 1991. Restabelece princípios da Lei nº 7.505, de 2 de julho de 1986, institui o Programa Nacional de Apoio à Cultura (Pronac) e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8313cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8313cons.htm). Acesso em: 22 de agosto de 2024.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República, [1988] Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 22 de agosto de 2024.

COSTA, H. A. et al. HBIM: Estudo exploratório por meio do registro do edifício E1. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL, Anais [...], São Carlos: IAU-USP, p.106-113, 2019.

GROETELAARS, Natalie Johanna. Criação de modelos BIM a partir de "nuvem de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Portaria nº 375, de 19 de setembro de 2018. Institui a Política de Patrimônio

Cultural Material do Iphan e dá outras providências. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/portaria3752018sei\\_iphan0732090.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/portaria3752018sei_iphan0732090.pdf). Acesso em: 22 de agosto de 2024.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Parecer Técnico 003/2008. DEPAM/IPHAN, 2008.

ISO - International Organization for Standardization. ISO 29481-1:2016. Building information models — Information delivery manual. Genebra: ISO, 2016. 29 p.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, v. 27, n. 4, p. 311-327, 27 ago. 2009.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 76, p. 89–102, fev. 2013.

TOCANTINS. Lei nº 577, de 24 de agosto de 1993. Dispõe sobre a proteção e a preservação do Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural do Estado do Tocantins. Tocantins: Governo do Estado. Disponível em: <https://www.al.to.leg.br/arquivos/6834.pdf>. Acesso em: 22 de agosto de 2024.

TOLENTINO, Mônica Martins Andrade. A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico. 2018. 330 p. Tese (Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado por meio de concessão de bolsa PIBIC com recursos ao autor discente pelo Edital nº 015/2023 PROPESQ da Universidade Federal do Tocantins, ano 2023-2024.

## Capítulo 4

# EXTRATOS HIDROALCOÓLICOS DE SUBPRODUTOS DA UVA E JABUTICABA: OTIMIZAÇÃO DA EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA

Geovana Marinho do Prado <sup>1</sup>  
Maria Olivia dos Santos Oliveira <sup>2</sup>  
Glêndara Aparecida de Souza Martins <sup>3</sup>

### RESUMO

A demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis está crescendo, com foco em nutrientes e facilidade de preparo. Frutas e vegetais antioxidantes ajudam a reduzir o estresse oxidativo. Resíduos do processamento, como cascas e sementes, podem ser reaproveitados para extrair compostos bioativos. Técnicas como ultrassom e encapsulação melhoram a estabilidade desses compostos. Diante disso, este estudo tem como objetivo geral a otimização do processo de extração de compostos bioativos de subprodutos da uva (var. Izabel) e da jabuticaba (var. Pingo de mel), bem como a caracterização dos extratos concentrados e avaliação da atividade antioxidante, antimicrobiana e o encapsulamento por gelificação iônica. Para isso, foram produzidos extratos (água, etanol 10%, etanol 50%, etanol 70% e etanol 80%) para avaliar a atividade antioxidante, compostos fenólicos e bioativos, e determinar a melhor concentração para extração assistida com ultrassom. Determinados os melhores solventes para farinha de casca e semente de uva (etanol 80 e 10%), casca e semente de jabuticaba (etanol 50 e 80%) foram concentrados e caracterizados. Os extratos foram avaliados quanto à atividade antimicrobiana e microencapsulados. Os resultados demonstraram que a otimização da extração de compostos bioativos dos subprodutos da uva Izabel e da jabuticaba Pingo de Mel, utilizando ultrassom, aumentaram entre 34,51 e 50,1% a extração. Os extratos concentrados mostraram-se ricos em compostos bioativos e com alta atividade antioxidante, especialmente nas cascas de uva e sementes de jabuticaba, demonstrando potencial antimicrobiano. A encapsulação por gelificação iônica foi eficaz na estabilização desses compostos, oferecendo novas perspectivas para o desenvolvimento de alimentos funcionais, ao mesmo tempo em que promoveu o aproveitamento sustentável dos subprodutos agroindustriais.

**Palavras-chave:** compostos bioativos, atividade antimicrobiana, subprodutos, encapsulação

---

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia de Alimentos, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, geovana.marinho@mail.uft.edu.br

<sup>2</sup> Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, mariaoliviaeng@gmail.com

<sup>3</sup> Doutora em Biotecnologia e Biodiversidade, Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, glendarasouza@mail.uft.edu.br

## INTRODUÇÃO

Mudanças no estilo de vida e nos hábitos do consumidor se traduzem em novos requisitos e necessidades. Atualmente, as pessoas buscam não somente a agilidade na preparação de seus alimentos, mas que estes apresentem nutrientes e compostos que traga efeitos positivos em sua saúde (Delfanian; Sahari, 2020). A atribuição de valores saudáveis e sustentáveis e a classificação de um produto como orgânico influenciam positivamente as impressões dos consumidores sobre um alimento (Pambo *et al.*, 2018; Harri *et al.*, 2020).

Diante disso, o consumo de alimentos ricos em compostos antioxidantes vem sendo promovido, pois, podem controlar a auto oxidação, interrompendo a propagação de radicais livres ou inibindo diretamente sua formação, reduzindo o estresse oxidativo. Vários estudos indicam que a alta ingestão de produtos vegetais está associada à redução de risco de algumas doenças crônicas e degenerativas (Delfanian; Kenari; Sahari, 2015; Ribeiro *et al.*, 2017; Tan *et al.*, 2018).

Alguns frutos e vegetais tem desencadeado interesse na alimentação humana como fonte de antioxidantes naturais e, consequentemente, importante papel na saúde, pois representam fontes de compostos fenólicos (Morelli; Prado, 2012; Morales *et al.*, 2016; Neri-Numa *et al.*, 2018). Dos vegetais ricos destes compostos podemos destacar a uva e jabuticaba.

Após o processamento destes frutos na indústria, cascas e sementes são considerados resíduos, e geralmente descartados. A fabricação de suco e vinho de uva, por exemplo, resulta em grande quantidade de resíduos, compostos principalmente de engaço e bagaço, podendo representar de 10 a 30% do peso inicial da fruta (Illyas *et al.*, 2021; Trigo *et al.*, 2022). Já a casca e semente da jabuticaba representa cerca de 50% do total da fruta (Barroso *et al.*, 2023).

Além de contribuir para a redução do desperdício de alimentos, o aproveitamento de subprodutos gera novas oportunidades de negócio

para a indústria alimentícia e agregar valor aos produtos finais. Uma alternativa ao uso destes subprodutos é a produção de extratos ricos em compostos bioativos, responsáveis pela atividade antioxidante (Bueno *et al.*, 2020).

Para a produção de extratos, tem se buscado a utilização de solventes alternativos, denominados ainda como *eco-friendly*, como etanol, água, fluidos supercríticos e glicerol. Possuem menor impacto ambiental em relação aos solventes químicos tradicionais, pois são produzidos a partir de matérias-primas renováveis, biodegradáveis e menos tóxicas (Brahmi *et al.*, 2022).

Existem algumas técnicas utilizadas para otimizar a produção e extração de compostos bioativos de vegetais, como as técnicas convencionais de extração por solvente e as técnicas não convencionais como extração assistida por ultrassom, extração com fluido supercrítico e extração assistida por microondas (Koubaa *et al.*, 2015) e a combinação de ambas. A extração assistida por ultrassom é uma alternativa eficiente para recuperar bioativos de materiais vegetais quando comparado com outras técnicas não convencionais, devido suas vantagens como simplicidade, flexibilidade, versatilidade, facilidade de uso, exige um investimento de capital relativamente baixo, são mais rápidos e não térmicos (Zhu *et al.*, 2017; Filho *et al.*, 2020).

No entanto, existem restrições para o uso de antioxidantes naturais em sistemas alimentares, como baixa solubilidade, vida de prateleira curta, dificuldades de embalagem e manuseio, e perdas devido a estresses ambientais e processos alimentares. O encapsulamento pode superar essas limitações, proporcionando um sistema de entrega eficiente em formulações alimentares. Além disso, a biodisponibilidade dos antioxidantes é crucial, pois determina a proporção absorvida pelas células, melhorando a saúde. Antioxidantes encapsulados são protegidos de tensões variadas e sua liberação pode ser controlada e direcionada (Esfanjani *et al.*, 2018; Assadpour; Jafari, 2019).

Diante disso, este estudo tem como objetivo geral a otimização do

processo de extração de compostos bioativos de subprodutos da uva (var. Izabel) e da jabuticaba (var. Pingo de mel), bem como a caracterização dos extratos concentrados e avaliação da atividade antioxidante, antimicrobiana e o encapsulamento por gelificação iônica.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Matéria-Prima

As jabuticabas (variedade Pingo de mel) foram colhidas no estádio maturo, após o período de safra (Mês de dezembro, período chuvoso) de 2023, na Fazenda & Vinícola Jabuticabal, em Hidrolândia-GO (Latitude: 16° 57' 44" S, Longitude: 49° 13' 41" W). As uvas (variedade Isabel) foram colhidas no estádio maturo, antes do período de safra (Mês de maio, início do período seco) de 2023, em Itaberaí-GO (Latitude: 16° 01' 13" S, Longitude: 49° 48' 37" W) na Vinícola Goiás.

As matérias-primas foram acondicionadas em embalagens de polietileno e levadas para a sanitização. As uvas e jabuticabas maduras foram selecionadas (retirando impurezas e frutos danificados), lavadas em água corrente e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 ppm e posterior enxágue. Os frutos foram despolpados em despolpadeira (Modelo Macanuda DM- SP1). As cascas e sementes foram secas a 45 °C em estufa com circulação de ar forçada, até peso constante. Após secagem, foram separadas (cascas e sementes), trituradas em moinho (TE-633, TEC MILL) obtendo-se pós com granulometria de 20 mesh. Por fim, foram acondicionadas em sacos plásticos e estocadas em freezer à -18°C até o uso.

### Produção dos extratos e seleção de Solvente

Os extratos foram preparados com farinhas secas de cascas e sementes de jabuticabas e uva. Foram preparados extratos hidroalcoólicos com etanol 10%, etanol 50%, etanol 70%, e etanol 80%; extrato aquoso. Para a obtenção dos extratos foi utilizada a razão de 1:20 (m/v) de farinha e solvente avaliado. A mistura foi homogeneizada

em vórtex e deixada em maceração por 20 horas a 4º C. Em seguida, foi filtrada em papel filtro, o extrato filtrado foi armazenado em frasco âmbar e armazenado a -18ºC até o momento das análises.

Todos os extratos preparados foram avaliados quanto ao seu teor de compostos fenólicos totais. Mas somente os extratos com melhores resultados (10%, 50% e 80%), foram avaliados quanto à atividade antioxidante (DPPH e ABTS), antocianinas, flavonoides e carotenoides.

#### Determinação do conteúdo de compostos fenólicos totais

O conteúdo de compostos fenólicos totais dos ensaios extratos hidroalcoólicos, foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteau, conforme descrito por Zielinski e Kozłowska (2000) que se baseia na reação colorimétrica de oxidação/redução de fenóis. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra (mg EAG/100g).

#### Atividade antioxidante (ABTS+) e (DPPH)

Para o ensaio da capacidade de redução do radical ABTS+, o procedimento seguiu o método de Rufino *et al.* (2010). Os extratos em diferentes solventes (30µl) foram colocados para reagir com 3,0 ml de ABTS por 6 min em ambiente escuro. A absorbância medida a 734 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em % de sequestro de radicais livres (% de inibição).

A capacidade de eliminação de radicais livres de DPPH será estimada usando o método proposto por Brand - Williams *et al.*, (1995) adaptado por Rufino *et al.* (2010). Os extratos em diferentes solventes (0,1 ml) foram colocados para reagir com 3,9 ml da solução radical DPPH por 30 min em ambiente escuro. A absorbância medida a 515 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em % de sequestro de radicais livres (% de inibição).

### Determinação do conteúdo de antocianinas e flavonoides

Para a determinação de antocianinas totais e flavonoides, foi seguido o método descrito por Lee e Francis (1972). As leituras para quantificar antocianinas foram realizadas a 535 nm e flavonoides a 374 nm em espectrofotômetro, com os resultados de antocianinas totais será expresso em mg/100g, e os flavonoides em mg/100g.

### Otimização de extração de compostos fenólicos totais

Diante, aos resultados apresentados foram selecionados os solventes com melhores resultados de extração de compostos fenólicos, atividade antioxidante e compostos bioativos para serem submetidos a otimização de extração assistida por ultrassom. Os solventes foram etanol 50% (casca de jabuticaba), etanol 80% (semente de jabuticaba), etanol 80% (casca de uva) e etanol 10% (semente de uva).

Para otimização do processo de extração de compostos fenólicos por ultrassom foi utilizada a metodologia de superfície de resposta com planejamento fatorial completo  $2^3$  de acordo com a metodologia descrita por Box e Draper (1987), que tem por finalidade investigar a influência e interação de três fatores com variáveis resposta.

Neste estudo os fatores são a interação do X1 que representa o tempo (min) (20, 40, 60), X2 temperatura (°C) (30, 50 e 70) e X3 proporção soluto/solvente (g/mL) (1:20, 1:30, 1:40), estes são varáveis independentes. As variáveis dependentes são a quantificação de compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides de acordo com as metodologias descritas nos itens 2.2.1 e 2.2.3.

As condições ótimas da extração assistida por ultrassom dos compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides foram avaliadas em gráficos de superfície de resposta, e foram escolhidas considerando a metodologia de desejabilidade.

Tabela 1. Delineamento experimental Box-Behnken, para os ensaios de extração

Fatores	Código	-1	0	+1
Tempo (min)	X1	20	40	60
Temperatura (°C)	X2	30	50	70
Soluto/Solvente (g/mL)	1:X3	20	30	40

A extração assistida por ultrassom foi realizada em sistema de banho ultrassônico com frequência de 40 kHz e potência de 250 W. Durante a extração, ondas ultrassônicas unidireccionais foram distribuídas dos transdutores no fundo do tanque de aço inoxidável para a água dentro do tanque. Após a sonicação, as amostras foram filtradas em filtro de papel e as análises realizadas.

#### Extratos otimizados

##### Concentração dos extratos otimizados

As melhores condições de extração encontradas na otimização através da aplicação da superfície de resposta e desejabilidade, foram utilizadas no preparo dos extratos otimizados. Após o preparo e filtragem, os extratos otimizados foram concentrados em rota evaporador a 45 °C, até a remoção de 85% do solvente extrator.

##### Caracterização dos extratos otimizados

A determinação do pH foi realizada utilizando potenciômetro calibrado com soluções de pH 10, 7,0 e 4,0, segundo a AOAC (2012).

O conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT), a atividade antioxidante pelos métodos ABTS+ e DPPH e antocianinas totais, flavonoides e carotenoides dos extratos otimizados concentrados foram realizados conforme itens 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3.

As estruturas químicas dos extratos otimizados concentrados foram analisadas através da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR-ATR). Uma amostra de 2 mL foi submetida

à radiação no infravermelho no equipamento no intervalo das regiões de espectro de 4000 – 500 cm<sup>-1</sup>, resoluções de 4 cm<sup>-1</sup> e 20 varreduras min<sup>-1</sup>.

#### Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana de extratos otimizados concentrados de resíduos de uva e jabuticaba, seguiu o método de microdiluição em caldo recomendado pelo *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI, 2012) e metodologia de Chaul *et al.* (2022). Foram utilizados seis patógenos: *Staphylococcus aureus* ATCC USA 300/Multirresistente, *Escherichia coli* ATCC 8739, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Salmonella choleraesuis* ATCC 10708, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 e *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048, para a determinação da Concentração Inibitória Mínima (CIM) em condições de aerobiose.

Os patógenos foram cultivados em caldo BHI e placas de ágar nutritivo a 35°C por 24 horas para obter colônias isoladas. Os extratos concentrados das farinhas foram analisados para verificar sua inocuidade em placas de ágar nutritivo. Após confirmar que não estavam contaminados, as amostras foram preparadas e diluídas. 0,5 g de cada extrato foi solubilizado em DMSO e diluído em caldo BHI estéril. Em microplacas de 96 poços, diluições seriadas foram realizadas, variando de 500 mg/mL a 0,5 mg/mL.

Cada extrato foi testado contra oito microorganismos, com controles incluídos. O inóculo bacteriano foi preparado para atingir aproximadamente 10<sup>7</sup> UFC/mL. Após a adição do inóculo nas microplacas, estas foram incubadas a 35°C por 20 horas, seguidas pela adição de TTC para identificar o crescimento microbiano. A concentração inibitória mínima (CIM) foi definida como a menor concentração do extrato que inibiu o crescimento bacteriano (ausência de coloração vermelha).

#### Microencapsulação

Foi realizada a técnica de gelificação iônica de acordo com Mendes *et al.* (2021) com modificações. Onde, 20 mL de solução de

alginato de sódio  $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$  1,0% foi homogeneizado com 3 mL do extrato hidroalcoólico concentrado de cada amostra. Essa solução foi gotejada com o auxílio de bureta com ponteira de pipeta de 200  $\mu\text{L}$  acoplada, em 100 mL de solução de cloreto de cálcio  $\text{CaCl}_2$  3,2%.

Após a formação das microcápsulas de alginato de cálcio, estas foram mantidas em repouso na solução de cloreto de cálcio por 30 min para gelificação completa e, em seguida, filtradas, lavadas três vezes com água destilada. Após esse processo, as cápsulas foram submersas em 100 mL de solução de quitosana a 0,4% (pH 5,7), e deixadas em repouso por 40 minutos. Após o período, as cápsulas foram filtradas e lavadas três vezes com água destilada, em seguida, secas em estufa a 40 °C por 2 horas.

#### Caracterização das microcápsulas

Para a obtenção dos diâmetros, foram medidas dez microcápsulas com o auxílio de um paquímetro, no qual foi possível calcular a média e o desvio padrão dos diâmetros, o resultado foi expresso em milímetros (mm).

A cor das microcápsulas foi determinada utilizando o colorimômetro konica Minolta modelo CR400, seguindo as coordenadas dos padrões CIE Lab (1986) ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) sendo  $L^*$  a luminosidade ( $L^* = 0$  preto, 100 branco);  $a^*$  coordenada que varia de vermelho (+) a verde (-); e  $b^*$  o parâmetro de croma amarelo (+) a azul (-). Ainda foram determinados a cromaticidade ( $C^*$ ) e ângulo hue ( $h^\circ$ ) (Canuto *et al.*, 2010).

A análise de reflectância total atenuada foi realizada (FTIR-ATR) dos microencapsulados a 26 °C na faixa de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$  para analisar a organização molecular nas amostras e as alterações estruturais causadas pela interação de compostos bioativos com o alginato.

#### Compostos bioativos nas microcápsulas e eficiência de encapsulamento

Para determinar o teor total de compostos microencapsulados foi necessário realizar a dissolução das microcápsulas, seguindo a

metodologia descrita por Oliveira *et al.* (2016). Para isso, as microcápsulas foram homogeneizadas com 10 mL de solução de citrato de sódio a 5% e deixadas em agitação até a completa dissolução.

A partir da solução de microcápsulas dissolvidas o teor de compostos fenólicos, antocianinas totais, flavonoides e atividade antioxidante foram determinados de acordo com os itens 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3.

A eficiência de encapsulação foi calculada por meio de equação (1) com base no teor de compostos fenólicos totais:

$$EE (\%) = \frac{\text{Compostos fenólicos nas microcápsulas}}{\text{Compostos fenólicos adicionado (extrato)}} * 100$$

#### Estabilidade das microcápsulas em diferentes pHs

O efeito do pH na estabilidade das microcápsulas foi determinado pela preparação de uma escala de pH com 13 tubos. Onde as amostras foram diluídas na proporção 1:60 (m/v) nos diferentes meios constituídos por água em que o pH foi ajustado com HCl e NaOH para representar uma faixa de pH de 1 a 13.

#### Análise estatística

Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os dados foram apresentados com média e desvio padrão e submetidos à ANOVA, utilizando o teste tukey pelo programa estatístico Sisvar® (Ferreira, 2019), sendo os valores de  $p < 0,05$  considerados como significativamente diferentes. Os gráficos de superfície de resposta e deseabilidade obtida pelo software Statsoft Statistica 12.5.

### DADOS E DISCUSSÃO

#### Seleção dos solventes para otimização da extração

O conteúdo dos compostos fenólicos totais dos extratos, produzidos a partir das farinhas das cascas e sementes da uva e jabuticaba com diferentes solventes podem ser observados na Tabela 2. O teor de compostos fenólicos totais apresentou diferença significativa

( $p < 0,05$ ) entre os solventes utilizados para sua extração. Dentre os solventes analisados, o etanol 80% foi capaz de extrair mais compostos fenólicos das farinhas da casca da uva (321,40 mgEAG/100g), seguido pelos solventes e etanol 50% (308,37 mgEAG/100g), embora os solventes hidroalcoólicos 10, 50, 70 e 80% não tenham apresentado diferença significativa.

A farinha de semente de uva apresentou um teor maior de CFT extraídos com solventes 50% (350,23 mgEAG/100g), 80% (349,77 mgEAG/100g), e 10% (346,05 mgEAG/100g). No entanto, os solventes hidroalcoólicos 10, 50, 70 e 80% não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Teor de compostos fenólicos (mgEAG/100g) em farinha da casca e semente de Uva e Jabuticaba em diferentes solventes.

<b>Solventes</b>	<b>UVA</b>		<b>JABUTICABA</b>	
	<b>Casca</b>	<b>Semente</b>	<b>Casca</b>	<b>Semente</b>
<b>Etanol 10</b>	306,05 ± 2,12a	346,05 ± 4,01a	331,16 ± 2,09b	232,34 ± 4,23c
<b>Etanol 50</b>	308,37 ± 3,15a	350,23 ± 6,02a	368,84 ± 4,05a	314,42 ± 10,02b
<b>Etanol 70</b>	298,60 ± 1,19a	330,56 ± 11,11a	232,34 ± 6,08d	433,49 ± 9,03a
<b>Etanol 80</b>	321,40 ± 8,32a	349,77 ± 9,18a	297,21 ± 6,10c	463,72 ± 8,05a
<b>Água</b>	200,35 ± 10,01e	186,29 ± 1,22b	131,04 ± 4,33e	195,55 ± 1,06c

Médias ± desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não se diferenciam entre si pelo Teste de tukey com nível de significância  $p < 0,05$ . Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Já nas farinhas de jabuticaba (Tabela 2), os solventes hidroalcoólicos que se sobressaíram na casca foram etanol a 50% (368,84 mgEAG/100g) e 10% (331,16 mgEAG/100g). Nas farinhas de semente de jabuticaba, os solventes 80% (463,72mgEAG/100g) e 70% (433,49 mgEAG/100g) apresentaram as melhores extrações e não diferiram estatisticamente entre si, embora tenham diferido dos demais solventes.

A adição de água aos solventes orgânicos facilita a extração devido os açúcares e proteínas ligados aos compostos fenólicos serem solúveis em água (Zielinski e Kozłowska, 2000). Um maior rendimento de extração de compostos fenólicos pode estar relacionado à natureza e

ao grau de polaridade dos solventes (Casa-Grande *et al.*, 2018).

Tabela 3. Atividade Antioxidante (% redução de radical), antocianinas e flavonoides (mg/100mg) em farinha de cascas e sementes de Uva e Jabuticaba em solventes hidroalcoólicos.

Solventes/Parâmetro	UVA		JABUTICABA	
	Casca	Semente	Casca	Semente
<b>DPPH (% redução do radical)</b>				
<b>Etanol 10</b>	42,03±0,30b	74,37±0,35b	81,09 ± 0,01a	84,32 ± 0,88a
<b>Etanol 50</b>	11,69±0,35a	86,81 ± 0,45a	75,87 ± 0,11b	89,55 ± 0,51a
<b>Etanol 80</b>	40,04±0,35a	88,30 ± 0,56a	88,05 ± 0,33a	90,79 ± 0,74a
<b>ABTS (% redução do radical)</b>				
<b>Etanol 10</b>	97,54 ± 0,20a	98,69 ± 0,20b	98,12 ± 0,16b	96,67 ± 0,20a
<b>Etanol 50</b>	99,57 ± 0,21a	98,41 ± 0,21a	99,40 ± 0,22b	99,27 ± 0,21a
<b>Etanol 80</b>	85,98 ± 0,20a	98,26 ± 0,40a	98,41 ± 0,10a	98,12 ± 0,20a
<b>Antocianinas (mg/100g)</b>				
<b>Etanol 10</b>	36,50 ± 0,22b	16,50 ± 0,21a	34,44 ± 0,05b	14,50 ± 0,01a
<b>Etanol 50</b>	57,09±0,21a	10,43 ± 0,15b	59,19 ± 0,09a	11,18 ± 0,10a
<b>Etanol 80</b>	26,82 ± 0,06b	16,01 ± 0,76a	27,58 ± 0,08c	9,98 ± 0,01a
<b>Flavonoides (mg/100g)</b>				
<b>Etanol 10</b>	73,21± 0,05b	73,39± 0,19a	126,96,12± 1,23b	49,56± 0,02b
<b>Etanol 50</b>	85,69 ± 0,17a	66,42± 0,02b	266,82 ± 8,62a	36,56 ± 0,03b
<b>Etanol 80</b>	71,23 ± 0,06b	43,34 ± 0,11c	114,17 ± 2,21b	72,86 ± 0,06a
<b>Carotenoides (mg/100g)</b>				
<b>Etanol 10</b>	9,02 ± 0,30b	11,94 ± 0,57a	11,86 ± 0,71b	4,44 ± 0,51a
<b>Etanol 50</b>	14,58 ± 0,28a	7,04 ± 0,43b	17,33 ± 3,04a	5,68 ± 0,57a
<b>Etanol 80</b>	6,86 ± 0,08b	3,29 ± 0,31c	9,76 ± 1,90c	6,85 ± 0,31b

Médias ± desvio padrão. Letras iguais nas mesmas colunas não se diferenciam entre si pelo Teste de tukey com nível de significância  $\rho < 0,05$ . Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Otimização da extração de compostos fenólicos assistida por ultrassom

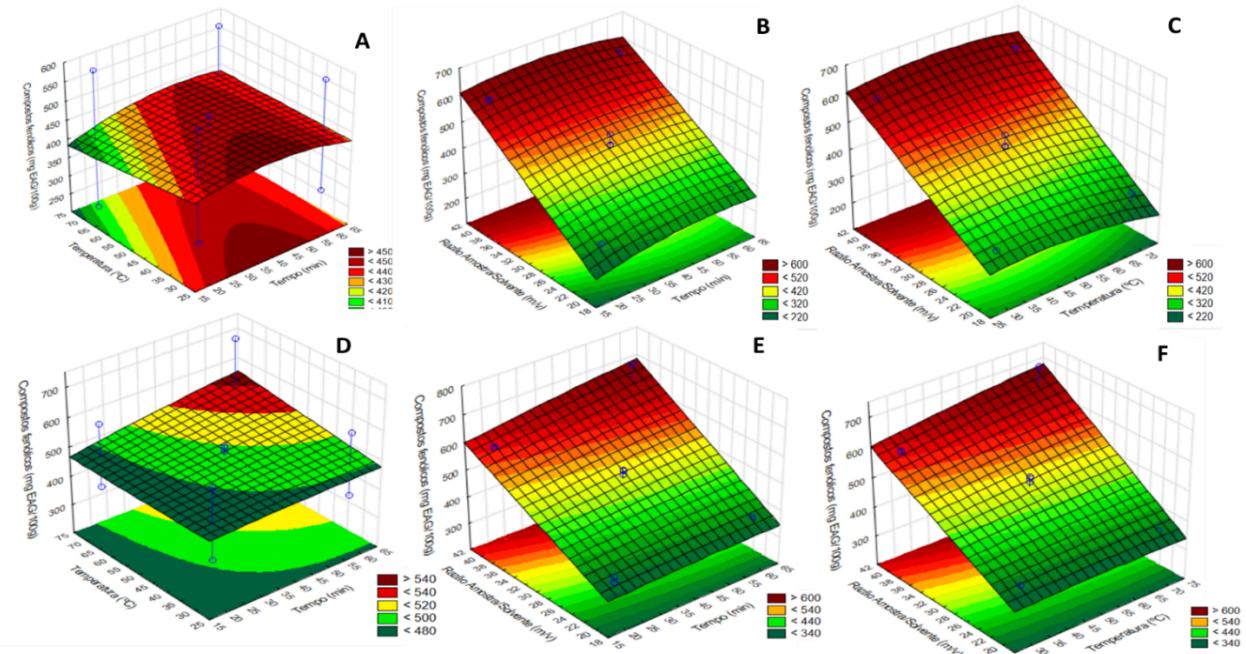
As Figuras 1 e 2 apresentam as superfícies de resposta para o teor de compostos fenólicos totais, em função do tempo, temperatura e razão sólido-solvente, apresentando as condições ótimas do processo para obter uma maior extração.

A Figura 1A, mostra a influência da temperatura sob o tempo, demonstrando que entre 25 e 45 °C e um tempo entre 25 e 50 minutos no ultrassom a extração é aumentada para casca de jabuticaba. Já para as sementes, a extração é maior em temperaturas mais altas e maior tempo de sonicação (Figura 1E). Um maior tempo de extração contribui na ruptura da parede celular, melhorando a penetração do

solvente nas células, pois como as células estarão danificadas, os compostos fenólicos são liberados em níveis mais altos (Kazemi *et al.*, 2016).

A Figura 2 demonstra que quanto maior a quantidade de solvente em razão da amostra, maior será a quantidade de compostos fenólicos extraídos, em todas as temperaturas e tempos analisados. De acordo com Živković *et al.* (2018) a maior quantidade de solvente é capaz de penetrar nas células vegetais. E ainda, o rendimento da extração é diretamente proporcional à razão entre a quantidade de sólido e a quantidade de solvente utilizado. Isso se deve ao fato de que a transferência de massa é influenciada pelo gradiente de concentração entre o sólido e o líquido. Portanto, se a quantidade de solvente for reduzida, isso afetará a transferência dos compostos fenólicos devido aos diversos equilíbrios que ocorrem durante o processo (Paleologou *et al.*, 2016).

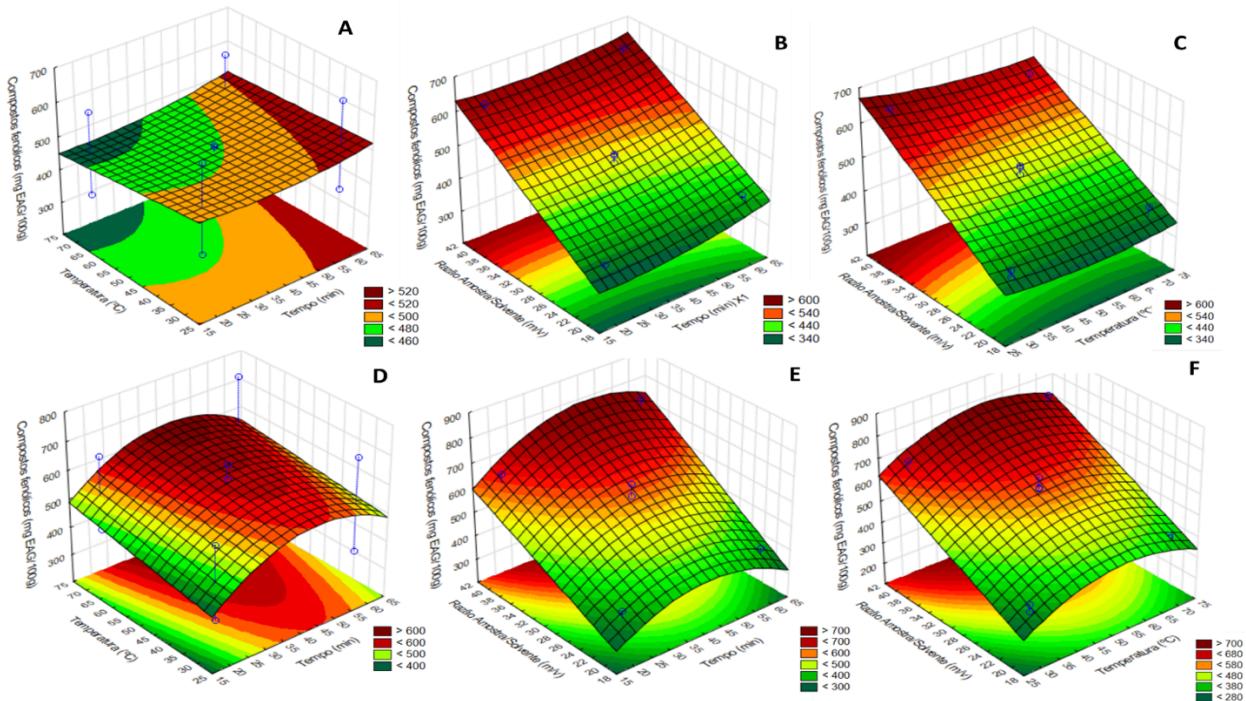
Figura 1. Gráfico de superfície de resposta: efeito da temperatura versus tempo, razão sólido/solvente versus tempo e razão sólido/solvente versus temperatura no teor de compostos fenólicos totais da extração das cascas e sementes de jabuticaba.



\*(A, B e C) Cascos de jabuticaba; (D, E e F) Semente de jabuticaba.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 2. Gráfico de superfície de resposta: efeito da temperatura versus tempo, razão sólido/solvente versus tempo e razão sólido/solvente versus temperatura no teor de compostos fenólicos totais da extração das cascas e sementes de uva.



**\*(A, B e C) Cascas de uva; (D, E e F) Semente de uva.** Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As figuras 3 e 4 trazem os perfis de desejabilidade com as médias de compostos fenólicos, obtidas dos extratos avaliados de casca e semente de jabuticaba e uva.

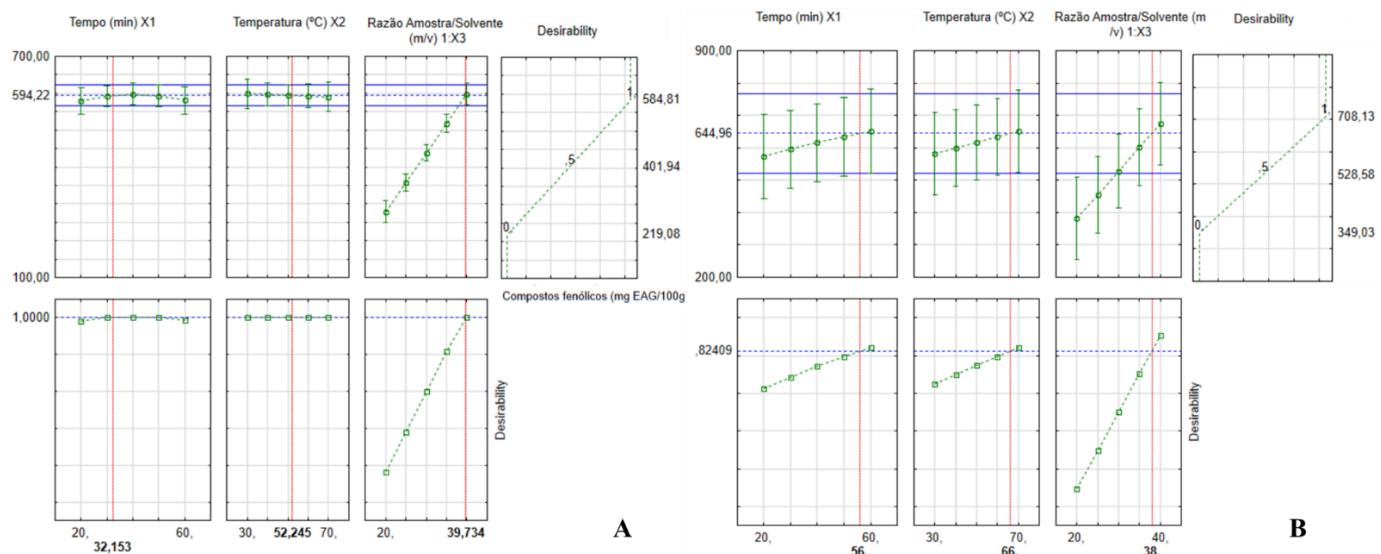
A extração assistida por ultrassom apresentou alto rendimento em todas as amostras analisadas, melhorando significativamente a extração dos compostos bioativos em comparação com as técnicas de extração convencionais.

O teor de compostos fenólicos (Figura 3A) das cascas da jabuticaba obteve uma média máxima de 584,81 (mgEAG/100g) um aumento de 37,07%, quando comparado a extração convencional (368,84 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 1,0, indicando que foi possível determinar as condições ótimas de extração para todos os

parâmetros avaliados. As condições foram 32,15 min, 52,245 °C e 1/39,73 (g/mL) de solvente.

O teor de compostos fenólicos (Figura 3B) da semente da jabuticaba obteve uma média máxima de 708,13 (mgEAG/100g) um aumento de 34,51%, quando comparado a extração convencional (463,72 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 0,824 indicando que foi possível determinar quase que totalmente as condições ótimas de extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 56 min, 66 °C e 1/38 (g/mL) de solvente.

Figura 3. Perfil para valores previstos e desejabilidade para melhorar a extração de compostos fenólicos totais em casca (A) e semente (B) de jabuticaba.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

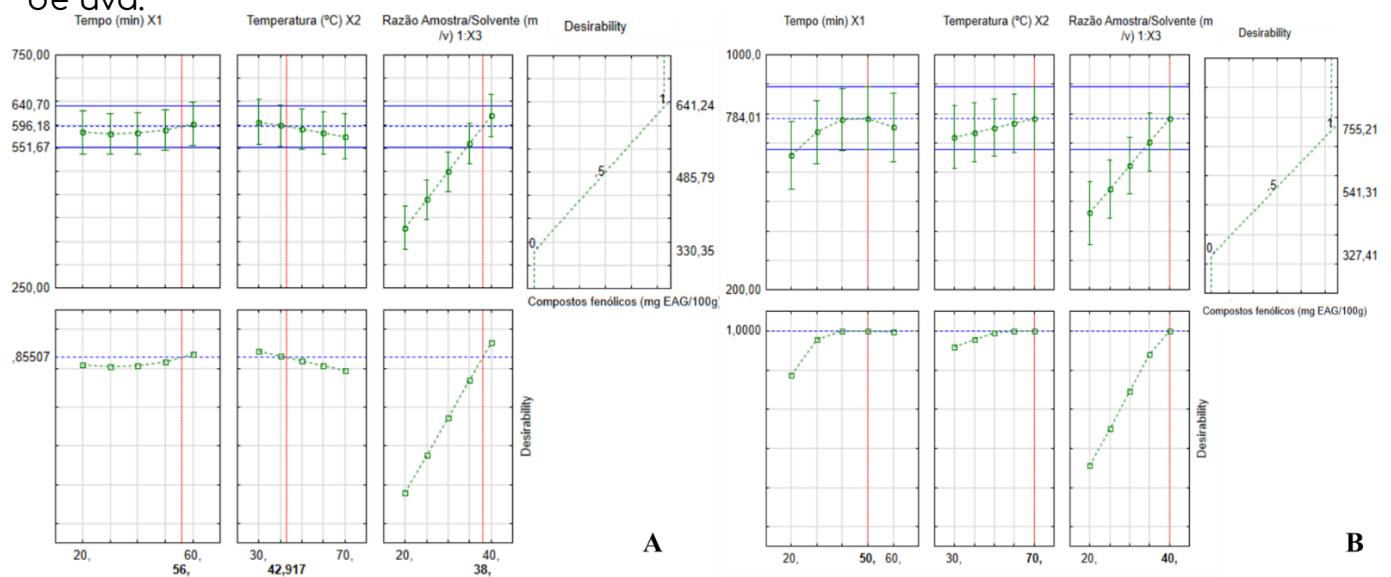
O teor de compostos fenólicos (Figura 4A) da casca da uva obteve uma média máxima de 641,24 (mgEAG/100g) um aumento de 50,1%, quando comparado a extração convencional (321,40 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 0,855 indicando que foi possível determinar quase

que totalmente as condições ótimas estimadas, para extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 56 min, 42,91

°C e 1/38 (g/mL) de solvente.

O teor de compostos fenólicos (Figura 4B) da semente de uva obteve uma média máxima de 755,21 (mgEAG/100g) um aumento de 45,8 %, quando comparado a extração convencional (346,05 mgEAG, 100g). A desejabilidade global obteve 1,0, indicando que foi possível determinar quase que totalmente as condições ótimas estimadas, para extração para todos os parâmetros avaliados. As condições foram 50 min, 70 °C e 1/40 (g/mL) de solvente.

**Figura 4.** Perfil para valores previstos e desejabilidade para melhorar a extração de compostos fenólicos totais em casca e semente de uva.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

#### Caracterização dos extratos otimizados concentrados

Observando a Tabela 4, nota-se que o pH de ambos os extratos varia entre 3,27 a 4,66 sendo considerado ácido, podendo oferecer vantagens para aplicações industriais, reduzindo a atividade microbiana e aumentando a durabilidade dos produtos. Nos Compostos Fenólicos Totais (CFT), foi observada uma diferença significativa entre os extratos de uva e jabuticaba, no qual a semente de uva teve o maior teor de CFT, sabendo que, alimentos ricos em componentes fenólicos previnem certos transtornos de saúde (Da

cunha *et al.*, 2022)

Para os compostos bioativos, como carotenoides, observa-se que a uva (casca e semente) obteve resultados maiores. No entanto, todos os extratos podem ser considerados ricos de carotenoides, pois contêm mais de 0,02 mg/g de carotenoides (Rodriguez-Amaya *et al.*, 2008). Para flavonoides foram considerados altos para todos os extratos, destacando-se o extrato da semente de jabuticaba (910,1 mg/100g), seguido da casca da uva (806,99 mg/100g). A presença de compostos flavonoides, sendo fonte de várias propriedades podendo ter interesse como aditivo alimentar e/ou ingrediente nutracêutico na indústria alimentar (Vinha, 2024). Quanto ao teor de antocianinas, a maior presença desses bioativos está na casca da uva, e embora a casca da jabuticaba tenha uma grande quantidade de fenólicos, estes não são majoritariamente antocianinas.

Os valores de DPPH e ABTS, não houve uma diferença significativa, mas satisfatórios, por possuir alto potencial de redução do radical DPPH, com todos os valores acima de 80% e alta capacidade de sequestro do radical ABTS, podendo estar ligado aos bons teores de CFT.

Tabela 4. Caracterização dos extratos otimizados concentrados de casca e semente de uva e jabuticaba.

Parâmetros	UVA		JABUTICABA	
	Casca	Semente	Casca	Semente
<b>pH</b>	3,27 ± 0,01a	4,66 ± 0,02a	3,38 ± 0,05a	3,72 ± 0,001a
<b>CFT (mgEAG/100g)</b>	1154,23 ±4,72a	1359,38 ±17,26a	1052,65±12,74a	1274,63±6,16a
<b>Carotenoides (mg/100g)</b>	230,8±1,86a	226,5±0,99a	67,75±0,53b	22,75±1,01c
<b>Flavonoides totais (mg/100g)</b>	806,99±5,02b	679,5±2,45c	629,94±1,03c	910,1±2,65a
<b>Antocianinas (mg/100g)</b>	630,60±1,23a	41,18±1,11c	162,34±1,98b	24,03±0,23c
<b>DPPH (% sequestro do radical)</b>	81,80±0,71a	86,53±0,56a	85,62±2,11a	88,79±3,16a
<b>ABTS (% sequestro do radical)</b>	95,20±0,30a	96,70±1,21a	96,35±1,02a	92,56±1,22a

#### Atividade antimicrobiana

Os extratos de casca de uva e de semente de jabuticaba mostraram capacidade de inibir o crescimento de patógenos. O extrato de casca de uva inibiu *Staphylococcus aureus* (CIM: 250 mg/mL), *Salmonella choleraesuis*, *E. coli* e *Salmonella typhimurium* (CIM: 500

mg/mL para cada). A semente de jabuticaba demonstrou ainda maior eficácia, com *Staphylococcus aureus* (CIM: 250 mg/mL), *Salmonella choleraesuis* (CIM: 125 mg/mL), *Escherichia coli* (CIM: 75 mg/mL) e *Salmonella typhimurium* (CIM: 500 mg/mL). Esse extrato foi especialmente eficiente contra *E. coli*.

**Tabela 5.** Concentração inibitória mínima (CIM) (mg mL<sup>-1</sup>) de extratos concentrados de casca e semente de uva e jabuticaba.

Microrganismos	Extratos concentrados			
	Casca de uva	Semente de uva	Casca de jabuticaba	Semente de jabuticaba
<i>Staphylococcus aureus</i>	250	NI	NI	250
<i>Salmonella choleraesuis</i>	500	NI	NI	125
<i>Escherichia coli</i>	500	NI	NI	75
<i>Salmonella typhimurium</i>	500	NI	NI	500
<i>Enterobacter aerogenes</i>	NI	NI	NI	NI
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	NI	NI	NI	NI

\*NI= não inibiu

#### Microencapsulação de extratos otimizados concentrados Caracterização das microcápsulas

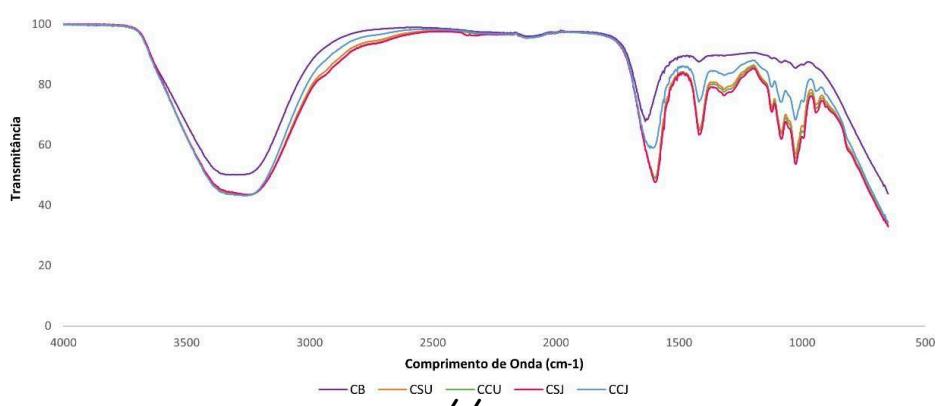
As microcápsulas (Tabela 6) apresentaram uma forma esférica, caracterizada por valores de circularidade em torno de 0,2 mm para as de uva, a 0,31mm para as de jabuticaba. Quanto aos parâmetros colorimétricos as microcápsulas de semente em ambas obteve valor para luminosidade (L\*) mais elevados, no qual a mesma apresenta cores com tonalidades mais claras. O valor de a\* (intensidade vermelha) foi maior na semente de jabuticaba (3,28). Os valores de b\* revela sua coloração amarela tal que foram maiores nas microcápsulas de sementes (8,98 a 11,76). O ângulo °Hue (h) especifica o matiz de uma cor, que pode definir a cor como avermelhado, esverdeado, etc. Graficamente, 0° é atribuído ao vermelho, 90° ao amarelo, 180° ao verde e 270° para azul (Cuadros et al., 2020). Todos os valores das microcápsulas ficaram abaixo de 80°. O valor de (C\*) indica a saturação da cor perceptível aos humanos sendo maior nas sementes.

Tabela 6. Caracterização das microcápsulas com extratos de casca e semente de uva e jabuticaba.

Parâmetros	UVA		JABUTICABA	
	Casca	Semente	Casca	Semente
<b>Diâmetro (mm)</b>	0,30 ± 0,01a	0,31 ± 0,02a	0,22 ± 0,05a	0,20 ± 0,001b
<b>L*</b>	41,98 ± 0,21a	55,57 ± 0,40b	45,47 ± 0,02a	48,26 ± 0,01a
<b>a*</b>	2,35 ± 0,02a	2,15 ± 0,04a	1,68 ± 0,02b	3,28 ± 0,04a
<b>b*</b>	5,25 ± 0,05b	8,98 ± 0,06a	9,14 ± 0,79a	11,76 ± 0,10a
<b>°Hue (h)</b>	65,89 ± 0,36a	76,52 ± 0,15a	78,81 ± 1,07a	74,40 ± 0,09a
<b>Chroma (C*)</b>	5,51 ± 0,04b	8,94 ± 0,06a	8,90 ± 0,77a	11,21 ± 0,10a

A Figura 5 apresenta a análise de FTIR observando as microcápsulas não houve uma diferença significativa, ambas tiverem similaridades, como apresentaram picos em 3400 – 3200 de hidroxila (O-H) correspondente a água residual, proteínas e compostos fenólicos, ademais, em todas as amostras houve picos entre 1600 e 900 cm<sup>-1</sup>, que são correspondentes, entre 1200 e 1000 cm<sup>-1</sup>, o grupo funcional ligado a ela é C-O de álcoois e fenóis, de 800 a 700 cm<sup>-1</sup> característica de anéis aromáticos C=C, indicando assim presença de compostos fenólicos e bioativos. Exceto no branco (cápsula sem extrato), atestando assim a eficiência da encapsulação. Além disso, os espectros de todas microcápsulas mostraram pico mais acentuado de 2100 cm<sup>-1</sup>, o que pode indicar interação do material ativos com o material de parede (Baltacioğlu *et al.*, 2021; Rashid *et al.*, 2022).

Figura 5. Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR-ATR) das microcápsulas.



\*Microcápsulas: Branco (CB), Semente de Uva (CSU), Casca de Uva (CCU), Semente de Jabuticaba (CSJ) e Casca de Jabuticaba (CCJ) Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Compostos bioativos nas microcápsulas e eficiência de encapsulamento

A Tabela 7, apresenta a eficiência de encapsulamento (EE), na qual todos os resultados foram satisfatórios por serem superiores a 49%, seguindo para um teor de CFT das microcápsulas mantendo- se significativo. O mesmo comportamento foi observado para os compostos bioativos carotenoides, flavonoides e antocianinas se mantendo superiores mesmo após a encapsulação, corroborando assim a eficiência de encapsulamento. Contudo, os valores de DPPH e ABTS reduziram, mas não significativamente, isso pode ser explicado pela redução dos teores CFT.

Tabela 7. Compostos bioativos nas microcápsulas e eficiência de encapsulamento com extratos de casca e semente de uva e jabuticaba.

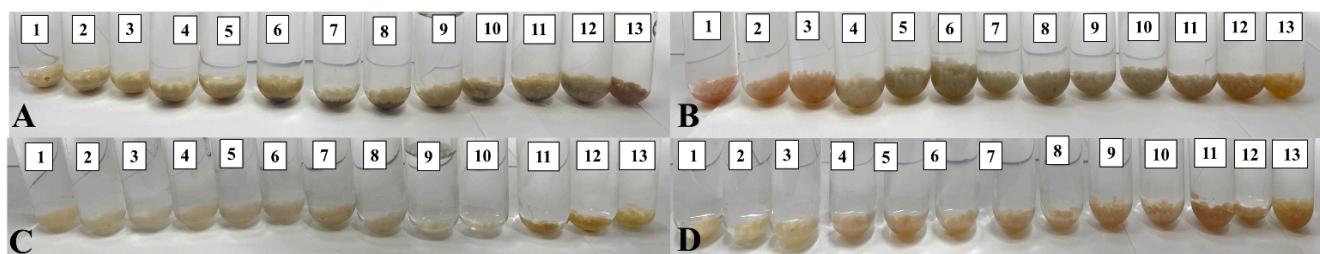
Parâmetros	UVA		JABUTICABA	
	Casca	Semente	Casca	Semente
EE (%)	54,09 ± 0,23a	56,29 ± 0,10a	55,03 ± 0,16a	49,74 ± 0,41b
CFT (mgEAG/100g)	528,77±4,72a	419,11±9,21b	439,59±2,56b	534,82±4,32a
Carotenoides (mg/100g)	124,84±1,54a	127,50±0,95a	37,28±0,62b	11,31±0,98c
Flavonoides totais (mg/100g)	436,50±4,01a	382,49±2,13b	346,65±1,01b	452,68±2,55a
Antocianinas (mg/100g)	341,09±1,03a	23,18±1,10c	107,31±1,91b	11,95±0,32c
DPPH (% sequestro do radical)	48,93±3,02a	52,47±1,79a	42,91±1,13a	33,08±0,47a
ABTS (% sequestro do radical)	66,84±0,56a	75,66±3,21a	57,75±0,945b	71,79±1,89a

Estabilidade das microcápsulas em diferentes pHs

As microcápsulas foram suspensas e tamponadas em diferentes valores de pH, de 1 a 13 (Figura 6), para avaliar sua estabilidade e liberação dos compostos encapsulados em soluções alcalinas, neutras e ácidas. As microcápsulas apresentavam colorações diversas, observando as de sementes (C e D) continham menos pigmentos encapsulados, exibindo colorações mais claras em comparação com as microcápsulas de cascas (A e B). Nos intervalos de pH 1 a 10 exibiram coloração mais clara, assim, foi possível observar uma estabilidade dos

compostos, como carotenoides e antocianinas microencapsulados mantiveram sua integridade, sem mudanças significativas na cor. Entretanto, na faixa de pH entre 11 e 13 é possível observar uma coloração mais intensa, quando há um aumento no pH da solução, o pigmento da antocianina passa de azul para verde e depois para amarelo indicando assim uma mudança na estrutura dos compostos. Em pH mais alto, as antocianinas são degradadas em vários compostos.(Leal, 2024; Souza, 2023; Oancea, 2021)

Figura 6. Estabilidade de micropartículas obtidas por gelificação iônica.



\*Microcápsulas: Casca de Jabuticaba (A), Casca de Uva (B), Semente de Jabuticaba (C), Semente de Uva (D). Fonte: Elaborado pela autora (2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A otimização do processo de extração de compostos bioativos de subprodutos da uva (var. Isabel) e da jabuticaba (var. Pingo de Mel) foi realizada com sucesso, utilizando a extração assistida por ultrassom obteve-se aumento de até 50,1% na extração. Os extratos concentrados demonstraram ser ricos em compostos bioativos e atividade antioxidante, com destaque para casca de uva e semente de jabuticaba. Tal fato influenciou a atividade antimicrobiana contra patógenos, indicando que os extratos possuem potencial como agentes antimicrobianos naturais.

A técnica de encapsulamento por gelificação iônica mostrou-se eficaz na encapsulação e estabilização desses compostos bioativos ao

pH. O encapsulamento também abre novas perspectivas para o desenvolvimento de produtos funcionais, que podem ser utilizados como ingredientes em formulações alimentares, oferecendo benefícios adicionais à saúde dos consumidores. Assim, o estudo atendeu ao objetivo geral proposto, proporcionando uma solução sustentável para o aproveitamento de subprodutos agroindustriais e oferecendo novas oportunidades de aplicação desses extratos em alimentos funcionais.

## REFERÊNCIAS

- ASSADPOUR E.; JAFARI SM. 3-nanoencapsulation: techniques and developments for food applications, *Nanomaterials for food applications*, 2019.
- BALTACIOĞLU, Hande; BALTACIOĞLU, Cem; OKUR, İlhami; TANRIVERMIŞ, Arif; YALIÇ, Muharrem. Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction. *Vibrational Spectroscopy*, v. 113, p. 103204, 2021.
- BARROSO, T. L., CASTRO, L. E., F. BARBERO, G., PALMA, M., CARRERA, C., ROSTAGNO, M. A., & FORSTER-CARNEIRO, T. Optimization of a Microwave-Assisted Extraction Method for the Recovery of the Anthocyanins from Jabuticaba By-Products. *Agronomy*, v. 13, n. 2, 556, 2023.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. *Empirical model-building and response surfaces*. New York: Wiley, 1987. 669 p.
- BRAHMI, F.; MATEOS-APARICIO, I.; GARCIA-ALONSO, A.; ABACI, N.; SAOUDI, S.; SMAIL-BENAZZOUZ, L.; GUEMGHAR-HADDADI, H.; MADANI, K.; BOULEKBACHE-MAKHLOUF, L. Optimization of Conventional Extraction Parameters for Recovering Phenolic Compounds from Potato (*Solanum tuberosum* L.) Peels and Their Application as an Antioxidant in Yogurt Formulation. *Antioxidants*, v. 11, p. 1-21, 2022.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.
- BUENO, T. M.; SCHIASSI, M. C. E. V.; SOUZA, R. H.; CARVALHO, G. R.; QUEIROZ, F. Efeito do forneamento e resfriamento em barras de cereais elaboradas com resíduos de uva e de jabuticaba. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, 2020.
- CUADROS, F.; LORENTE, R.; CLIMENT, M. Hue angle determination for color specification in food formulations. *Journal of Food Science*, v. 85, n. 4, p. 1123-1132, 2020.
- DA CUNHA, A. P. S.; BRAGA, A. J. L.; KAEFER, U. Q. S.; SUGUI, M. M.;

- SINHORIN, V. D. G. (2022). Análise do extrato aquoso da jabuticaba frente ao status redox e mutagênese em camundongos. *Nativa*, 10(1), 83-89.
- DELFANIAN, M.; KENARI, R. E.; SAHARI, M. A. Antioxidant activity of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit peel and pulp extracts in stabilization of soybean oil during storage conditions. *International Journal of Food Properties*, v. 18, n. 12, p. 2813-2824, 2015.
- DELFANIAN, M.; SAHARI, M. A. Improving functionality, bioavailability, nutraceutical and sensory attributes of fortified foods using phenolics-loaded nanocarriers as natural ingredients. *Food Research International*, p. 109555, 2020.
- FERREIRA, D. F. *Sistema para análise de variância para dados balanceados - SISVAR*. Lavras: UFLA, 1999. 92 p.
- FILHO, E. G. A.; SOUSA, V. M.; RODRIGUES, S.; DE BRITO, E. S.; FERNANDES, F. A. N. Green ultrasound-assisted extraction of chlorogenic acids from sweet potato peels and sonochemical hydrolysis of caffeoylquinic acids derivatives. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 63, p. 1-8, 2020.
- HARRI, L., PITTERI, P., MERJA, L., MARJO, S., & SAMI, K. Get some respect – buy organic foods! When everyday consumer choices serve as prosocial status signaling, *Appetite*, 2020.
- HOLETZ, F.B., PESSINI, G. L., SANCHES, N. R., CORTEZ, D. A. G., NAKAMURA, C. V., FILHO, B. P. D. Screening of Some Plants Used in the Brazilian Folk Medicine for the Treatment of Infectious Diseases. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 97 (7), 1027-31, 2002.
- ILYAS, T.; CHOWDHARY, P.; CHAURASIA, D.; GNANSOUNOU, E.; PANDEY, A.; CHATURVEDI, P. Sustainable green processing of grape pomace for the production of value-added products: An overview. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101592, 2021.
- KAZEMI, M.; KARIM, R.; MIRHOSSEINI, H.; HAMID, A. A. Optimization of pulsed ultrasonic- assisted technique for extraction of phenolics from pomegranate peel of Malas variety: punicalagin and hydroxybenzoic acids, *Food Chemistry*, 206, 156-166, 2016.
- KOUBAA, M.; ROSELLO-SOTO, E.; SIC Z~LABUR, J.; REZ~EK JAMBRAK, A.; BRNC~IC, M.; GRIMI, N.; BARBA, F. J. Current and new insights in the sustainable and green recovery of nutritionally valuable compounds from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 63, p. 6835-6846, 2015.
- LEAL, G. F. Extração e obtenção de encapsulado de taturubá (*Pouteria macrophylla* (Lam) Eyma.) rico em substâncias bioativas. 2024.
- LEE, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of Pigment Analyses in Cranberries. *Hort Science*, v. 7, n. 1, p. 83-84, 1972.
- MARAN, J. P.; PRIYA, B. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharide from *Nephelium lappaceum* L. fruit peel. *International j. of biological macromolecules*, v. 70, p. 530-536, 2014. MEDINA-TORRES, N. et al. Ultrasound assisted extraction for the recovery of phenolic compounds from vegetable sources. *Agronomy*, v. 7, n. 3, p. 47, 2017.
- MENDES, D. D. C. S. Propriedades funcionais e microencapsulação de

extratos da jabuticaba (*Myrciaria Cauliflora*) com aplicabilidade em biscoitos de polvilho. Tese (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, 2021.

MENDES, D. de C. S.; ASQUIERI, E. R.; BATISTA, R. D.; DE MORAIS, C. C.; RAMIREZ ASCHERI, D. P.; DE MACÊDO, I. Y. L.; DE SOUZA GIL, E. Microencapsulation of jabuticaba extracts (*Myrciaria cauliflora*): Evaluation of their bioactive and thermal properties in cassava starch biscuits. *Lwt*, v. 137, n. August 2020, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110460>

MORALES, P; BARROS, L; DIAS, M.I.; SANTOS-BUELGA, C; FERREIRA, I.C; ASQUIERI, E.R; BERRIOS, J.D.J. Non-fermented and fermented jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Mart.) pomaces as valuable sources of functional ingredients. *Food chemistry*, v. 208, 220-227, 2016. MORELLI, L. L. L.; PRADO, M. A. Extraction optimization for antioxidant phenolic compounds in red grape jam using ultrasound with a response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, v. 19, n. 6, p. 1144-1149, 2012.

NERI-NUMA, I.A; SANCHO, R.A.S; PEREIRA, A.P.A; PASTORE, G.M. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. *Food Research International*, 103, 345-360, 2018.

OANCEA, S. (2021). A Review of the Current Knowledge of Thermal Stability of Anthocyanins and Approaches to Their Stabilization to Heat. *Antioxidants*, 10(9), 1337. <https://doi.org/10.3390/antiox10091337>

PALEOLOGOU, I., VASILIOU, A., GRIGORAKIS, S., P. MAKRIS, D. P. (2016). Optimisation of a green ultrasound-assisted extraction process of potato peel (*Solanum tuberosum*) polyphenols using bio-solvents and response surface methodology. *Biomass C. and Biorefinery*, 6, 289-299. PAMBO, K. O., JULIUS J. OKELLO, ROBERT M. MBECHE, JONH N. KINYURU, & MOHAMMED H. ALEMU. (2018). The role of product information on consumer sensory evaluation, expectations, experiences and emotions of cricket-flour-containing buns.

*Food Research International*, 532-541.

RASHID, R.; MOHD WAN, S.; MANZOOR, S.; MASOODI, F. A.; MASARAT DAR, M. Green extraction of bioactive compounds from apple pomace by ultrasound assisted natural deep eutectic solvent extraction: Optimisation, comparison and bioactivity. *Food Chemistry*, v. 398, n. March 2022, p. 133871, 2022 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133871>

RIBEIRO, V. M., BEDE, T. P., ROCHA, GA., BARROSO, S., VALENÇA, S., & DE AZEREDO, V. B. High fat diet and high polyphenols beverages effects in enzymatic and non-enzymatic antioxidant activity. *Nutrición Hospitalaria*, 2017.

RUFINO, M. D. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. D. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica:

determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa Agroindústria Tropical- Comunicado Técnico (INFOTECA-E).** Comunidado tecnico 127, 2007.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; AMAYA-FARFAN, J. Fontes brasileiras de carotenoides: tabela brasileira de composição de carotenoides em alimentos. – Brasília: MMA/SBF, 2008.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121 (4), 996-1002, 2010.

SOUZA, L. R. Microencapsulação de extratos naturais pigmentados, extraídos de cascas de frutos amazônicos para aplicação em alimentos. 2023.

TAN, B.L.; NORHAIZAN, ME; LIEW, WPP; SULAIMAN, R. Antioxidant and oxidative stress: A mutual interplay in age-related diseases. *Frontiers in pharmacology*, v. 9, n. 1162, 2018.

TRIGO, J. P.; ALEXANDRE, E. M.; SARAIVA, J. A.; PINTADO, M. E. High value-added compounds from fruit and vegetable by-products-Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 60, n. 8, 1388-1416, 2022.

VINHA, A. F. Bagaço de uva com potencial nutracêutico e aditivo em produtos alimentares. In: Engenharia dos Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos. Editora Científica Digital, Vol. 1, N.1, pp. 75-93. 2024. doi: 0.37885/978-65-5360-586-2; ISBN: 978-65-5360-586-2

ZHU, Z.; GUAN, Q.; KOUBAA, M.; BARBA, F. J.; ROOHINEJAD, S.; CRAVOTTO, G.; XINSUN YANG, X.; LI, S.; HE, J. HPLC-DAD-ESI-MS2 analytical profile of extracts obtained from purple sweet potato after green ultrasound-assisted extraction. *Food Chemistry*, v. 215, p. 391-400, 2017.

ZIELINSKI, H., KOZŁOWSKA, H. Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Cereal Grains and Their Different Morphological Fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2008–2016, 2000.

ŽIVKOVIĆ, J.; ŠAVIKIN, K.; JANKOVIĆ, T.; ĆUJIĆ, N.; MENKOVIĆ, N. Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from pomegranate peel using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, v. 194, p. 40–47, 2018.

## FINANCIAMENTO

“O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil”.

## Capítulo 5

# CADASTRO CATEDRAL NOSSA SENHORA DAS MERCÊS DE PORTO NACIONAL COM USO DE TECNOLOGIAS BIM

Érika Torres Salles<sup>1</sup>  
Heliora Aparecida Costa<sup>2</sup>

## RESUMO

A tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) é caracterizada por trabalhar com dados gráficos de modelagens parametrizadas. Para edifícios já existentes é chamado de HBIM (*Historic Building Information Modeling*). Este conceito é aplicado para modelos digitais de patrimônio histórico. Tendo esses conceitos como foco, o presente projeto buscou reproduzir o HBIM da Catedral Nossa Senhora das Mercês, localizada na cidade de Porto Nacional (TO), tombada pelo IPHAN, Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e criar um acervo com arquivos de famílias e o seu modelo integrado. O método aplicado teve abordagem qualitativa e foi realizado com etapas de revisão bibliográfica, levantamento de campos e informações de projetos existentes, processos de modelagem BIM. O modelo construído no decorrer desta pesquisa contribui com a modelagem em BIM para a representação de edifícios históricos do estado do Tocantins, bem como para seu registro e aplicação em futuras manutenções, reformas e novos estudos.

Palavras-chave: BIM; HBIM; Patrimônio Histórico; Porto Nacional (TO).

---

<sup>1</sup> Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista Pibic UFT, Universidade Federal do Tocantins, [erika.salles@mail.uft.edu.br](mailto:erika.salles@mail.uft.edu.br)

<sup>2</sup> Docente em Arquitetura e Urbanismo, Orientadora Pibic, Universidade Federal do Tocantins, [heliora@mail.uft.edu.br](mailto:heliora@mail.uft.edu.br)

## INTRODUÇÃO

Dentre as características da identidade cultural de um grupo social, a arquitetura e modos de construção destacam traços, valores e costumes de um determinado período. Além disso, os espaços físicos podem ser identificados por meio de seus projetos arquitetônicos, os quais similarmente tomam papel de importância para a sociedade a fim de identificar sua cultura e através de suas edificações servem como orientação e localização dentro dos espaços urbanos (Cosoni, Martins e Japur, 2019). Portanto percebe-se a importância do trabalho de entidades como o Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), que é responsável por reconhecer e proteger edifícios históricos.

São cinco os conjuntos urbanos tombados pelo IPHAN no norte do Brasil, dentre eles, dois estão situados no estado do Tocantins, em Natividade e Porto Nacional.

Porto Imperial, nome anterior de Porto Nacional, era rota de navegação de bandeirantes em meados de 1738 e foi cenário de exploração de minérios, principalmente, ouro, o que gerou evolução da região a partir da criação de povoados. Essa atividade proporcionou o desenvolvimento local, que trouxe consigo os primeiros religiosos da Missão Dominicana vindos da Europa. Este movimento religioso ocasionou um crescimento urbano com a construção de praças, vielas, casarões e igrejas, dentre elas a Catedral Nossa Senhora das Mercês (IPHAN, s.d.), objeto de estudo dessa pesquisa

A Catedral Nossa Senhora das Mercês está situada próxima às margens do rio Tocantins. Em 1894 deu-se início à sua construção, que foi finalizada no ano de 1904. Possui paredes com cerca de 1 metro e espessura feitas com tijolos. Com características do estilo românico, teve a maioria de suas imagens religiosas importadas da França e de Belém do Pará. A igreja, além de ser um ponto turístico, é diariamente utilizada pela população local (IPHAN, s.d.).

Em muitos casos informações, projetos e referências históricas

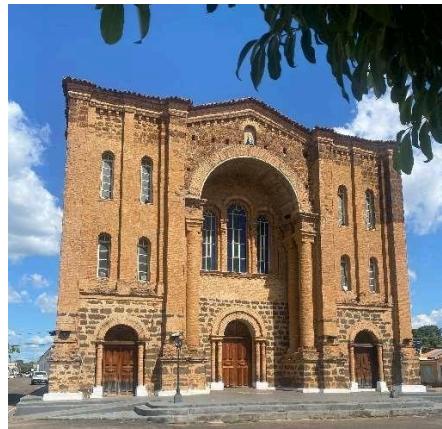
de prédios tombados são distribuídos entre mais de uma entidade ou pessoa e em diferentes formatos (Canuto, Moura, Salgado, 2017). Este fator dificulta o processo de resgate e coleta de materiais para estudos, pesquisas e, eventualmente, reformas. Observa-se a necessidade de incorporar e unir esses dados, facilitando e possibilitando o acesso à distância. Atrelado a isso e às novas possibilidades oferecidas pelas tecnologias disponíveis atualmente, atribui-se a tarefa de reproduzir representações de edifícios históricos utilizando ferramentas de modelagem digital.

A tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) é um conceito que integra a gestão de projetos e infraestruturas através de dados parametrizados (Sacks, 2021). Estes dados carregam consigo algoritmos atrelados a atributos gráficos que podem ser manipulados de forma inteligente, sem alterar a natureza da geometria gerada ou modelada. Esse conceito aplicado a edifícios históricos é chamado de *Historic Building Information Modeling* (HBIM). De acordo com Murphy (2009) HBIM é um sistema de objetos paramétricos e interativos que representam elementos arquitetônicos históricos que são precisamente mapeados através de uma nuvem de pontos ou baseados em imagens. Pode ser comparado com uma engenharia reversa, que busca capturar e desenvolver projetos de um edifício já existente.

Quanto maiores as semelhanças da modelagem em HBIM com o modelo real, melhor será a visualização, previsão, alteração e exploração de decisões projetuais, seja em reformas, revitalizações e ampliações, desde pequenos detalhes, como a pintura de uma parede, a grandes mudanças estruturais (Pereira, 2013). Nesse sentido, a modelagem de famílias (grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades chamado de parâmetros e uma representação gráfica relacionada (Autodesk, s.d.) gera geometrias e contribui – a depender do nível de detalhes - com o aumento da acurácia de modelo tridimensional.

Nesta pesquisa, a Catedral Nossa Senhora das Mercês (Fig. 1) foi utilizada como elemento de estudo que teve como objetivo criar um modelo 3D utilizando ferramentas BIM e HBIM, por meio do *software* Autodesk Revit (versão 2024) fim de contribuir com a comunidade unindo informações e dados históricos deste desse edifício.

Figura 1: Fachada da catedral.



Fonte: Autora (2024).

## MÉTODO E MATERIAIS

A pesquisa foi desenvolvida sob uma abordagem qualitativa, com etapas de revisão de literatura, levantamento de informações existentes sobre o projeto, levantamento de campo e modelagem. Por se tratar de um edifício de grande escala física, o trabalho foi dividido com mais quatro pesquisadores bolsistas discentes e a docente orientadora.

1. Estudo preliminar teórico sobre a história local, do edifício e do centro urbano de Porto Nacional tombado pelo IPHAN. Prévia coleta de dados e arquivos que poderiam ser utilizados durante o processo de modelagem, dentre eles, uma pasta de arquivos CAD com levantamentos detalhados feito pelo IPHAN. Estudo e revisão bibliográfica de projetos semelhantes para embasamento teórico-científico e exemplos de como proceder.

2. Visitas *in loco* para levantamento do campo: captura de medidas da igreja e seus elementos, por meio de registros fotográficos, vídeos, croquis. Também foi realizado um levantamento por VANT, com o desenvolvimento por fotogrametria e geração da nuvem de pontos para conferência das medidas externas. As visitas foram realizadas entre dezembro de 2023 a julho de 2024.
3. Modelagem das famílias de mobiliários, esquadrias, paredes, colunas e coberturas e inserção dessas no modelo final.
4. Integração com o modelo central para posterior divulgação no site em desenvolvimento que comportará esses arquivos além de informações históricas de livre acesso.

Figura 2: Etapas do desenvolvimento desta pesquisa.



Fonte: Autora (2024).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

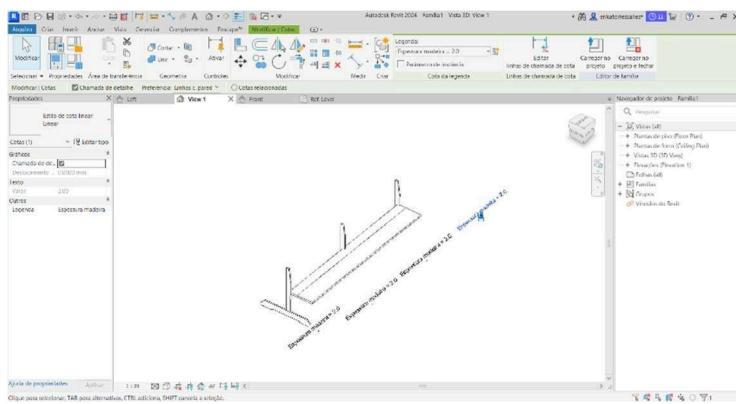
A pesquisa apresenta como resultado o conjunto de famílias de componentes modelados pela autora, basicamente: portas laterais, portas posteriores do altar, bancos e pilares, que foram integrados ao modelo central da catedral em conjunto pelo grupo da pesquisa.

O processo de modelagem das famílias foi realizado por meio de captura de dados e informações de forma manual e uso de *templates* disponibilizados pelo fabricante Autodesk. A seguir, a descrição dos elementos e processos.

A família do banco da catedral: por ser um móvel de média complexidade, teve seus dados coletados com equipamentos simples, trenas, anotação em croquis e com fotos e vídeos. Foi utilizado o

*template* de família *Metric furniture* (mobiliário métrico) com as ferramentas de extrusão e varredura. (Fig. 3)

Figura 3: Família banco da catedral.



Fonte: Autora, 2024.

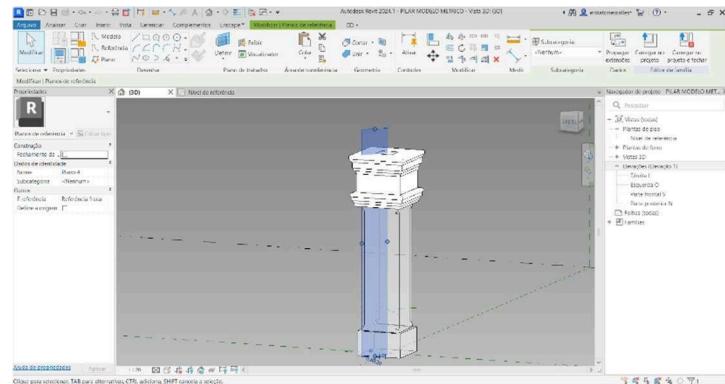
Diferente da modelagem anterior, a modelagem da família dos pilares internos (Fig. 4) exigiu esforços de toda a equipe com diferentes formas e *templates*. A princípio foi utilizado o *template Metric column* (coluna métrica), porém o resultado obtido não representava o pilar com suas irregularidades, por ser um *template* que não permite representar muitos traços e planos não paralelos aos eixos X, Y e Z. Posteriormente, após outros membros do grupo testarem diferentes técnicas, foi utilizado o *template* Modelo genérico métrico adaptativo, que permitiu a criação de faces com eixos e planos irregulares capazes de capturar as imperfeições reais dos eixos das vértices do pilar. Foram utilizadas as ferramentas de criação de forma de cheios e forma vazios. (Fig. 5).

Figura 4: Pilares internos.

Figura 5: Família do pilar.



Fonte: Autora, 2023.

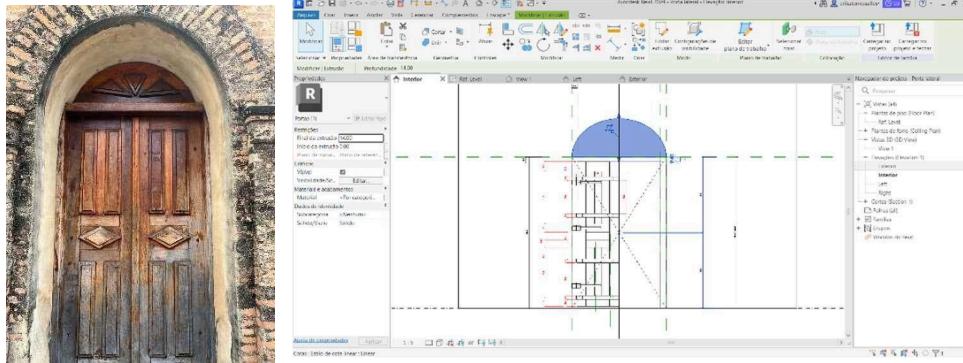


Fonte: Autora, 2023.

As famílias das portas laterais (Fig. 6) e portas dos fundos foram modeladas posteriormente. Apesar da riqueza e detalhes, não houve muitos imprevistos durante o processo. Devido a semelhança entre elas, um arquivo foi utilizado como base para a criação do outro, onde foram corrigidas as diferenças (Fig. 7). Neste processo, foi utilizado o *template Metric Door* (porta métrica) e as ferramentas de extrusão, varredura e mescla. Para a utilização em outros arquivos, optou-se por criar uma família de dobradiças.

Durante a visita feita no dia 01 de março de 2024, foi utilizado o aparelho Estação Total, emprestado por um colaborador externo que também se responsabilizou por manuseá-lo com auxílio dos pesquisadores envolvidos. Com este aparelho, foi possível capturar o relevo topográfico em diferentes pontos no entorno da catedral, que após serem processados no programa AutoCAD, foi inserido na modelagem geral no Revit, adicionando mais detalhes e fidelidade ao projeto.

Figura 6: Porta lateral. Figura 7: Modelagem da porta.

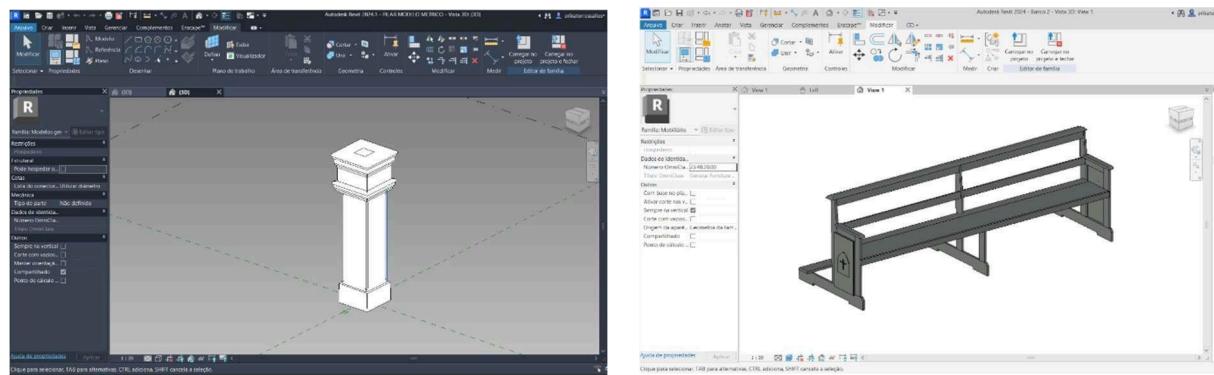


Fonte: Autora (2024).

Fonte: Autora (2024).

Na visita realizada no dia 13 de junho de 2024, com auxílio de uma das pesquisadoras, utilizou-se um drone particular para capturar vídeos e imagens da igreja, que além de agregar ao acervo fotográfico, pôde ser utilizado para a criação e processamento da nuvem de pontos. Devido ao avanço da modelagem manual até este momento, o objeto 3D obtido a partir do processamento da nuvem de pontos, foi utilizado como referência de comparação com o modelo já pronto obtido com levantamento feito manualmente. Incoerências dos dados utilizados como referência, como o modelo CAD enviado pelo IPHAN, ficaram mais perceptíveis.

Figura 8: Resultado dos pilares internos. Figura 9: Resultado dos bancos.



Fonte: Autora (2024).

Fonte: Autora (2024).

Figura 10: Resultado das portas.  
catedral.

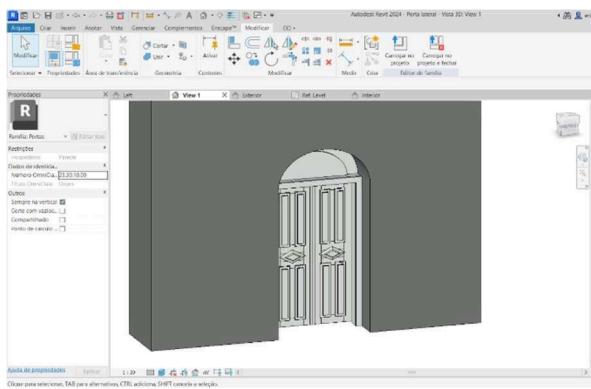
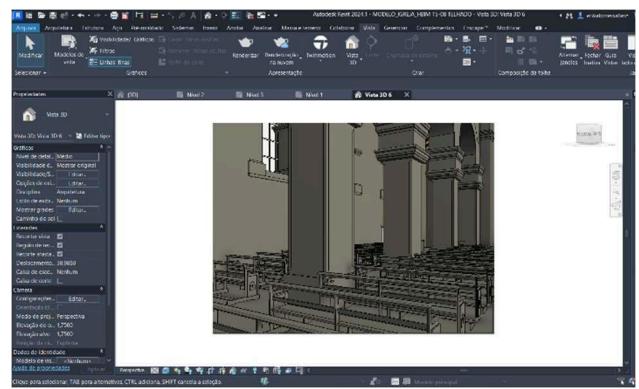


Figura 11: Vista do interior da  
catedral.



Fonte: Autora (2024).

Todas as modelagens propostas conseguiram ser executadas com êxito. Pilares internos (Fig. 8), bancos (Fig. 9), portas laterais e dos fundos (Fig. 10). O resultado dessas modelagens irá compor um banco de dados – em fase de elaboração – com famílias BIM do patrimônio edificado do Estado do Tocantins.

O modelo gerado pelo processamento da nuvem de pontos, feito pela pesquisadora Isabella (componente do grupo), foi útil para comparar os resultados dos dois métodos. Incoerências dos dados utilizados como referência, como o modelo CAD enviado pelo IPHAN, ficaram mais perceptíveis, demonstrando que tecnologias de captura com drones e processamento de nuvem de pontos proporcionam um resultado mais fiel em construções de grande porte. Porém, algumas medidas internas só foram possíveis com uso de instrumentos manuais, dada a dificuldade de sobrevoo no interior da igreja.

As referências bibliográficas afirmam que o uso de tecnologias mais recentes, como escaneamento a laser e fotogrametria garantem uma precisão maior dos resultados, porém o custo de investimento em tecnologias capazes de gerar esses resultados são altíssimos (Kempter, 2015). Apesar das intercorrências, o modelo gerado é uma ótima referência para estudos posteriores, e que poderá ser aprimorado futuramente com maior detalhamento.

Cita-se ainda como resultado do estudo o processo de modelagem dos componentes BIM, bem como as informações históricas incorporadas aos componentes desenvolvidos. O desenvolvimento de famílias BIM é uma área de grande interesse no Brasil e no mundo, sendo considerado um conhecimento estratégico que promove inovação na indústria de construção (BRASIL, 2024). O Brasil tem criado bibliotecas públicas BIM, com modelos de projeto para Habitação de Interesse Social (HIS) como por exemplo: o exército, além da BNBIM (Biblioteca Nacional BIM), disponível para uso público e gratuito, como forma de incentivo do uso do BIM no país (COSTA *et al*, 2021).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo proposto de modelar a Catedral Nossa Senhora das Mercês utilizando ferramentas BIM um modelo 3D, o resultado obtido foi positivo. A modelagem finalizada é uma representação da catedral e seus elementos interiores que poderá ser utilizada para novos estudos e colabora com a documentação de edifícios históricos nacionais em HBIM no estado do Tocantins.

O HBIM difere do BIM pelo processo de levantamento principalmente, tendo surgido especialmente para a construção de formas complexas típicas da arquitetura clássica principalmente, como abóbadas, cornijas, entre outros. A esse respeito, Banfi (2017) reitera que essa é a primeira restrição dos *softwares* BIM, uma vez que não incorpora ferramentas para a produção de componentes históricos como os clássicos. O processo HBIM surge para suprir essa demanda, com meio de levantamento que geram nuvem de pontos e facilitam a construção dos elementos complexos arquitetônicos. O resultado desta pesquisa indica que na arquitetura românica, com a Igreja Nossa Senhora das Mercês, os elementos são em grande parte ortogonais e de geometria menos complexa, permitindo a captura com ferramentas de baixo custo e sua modelagem diretamente no Revit,

sem a necessidade de softwares intermediários. Todos os elementos do edifício foram possíveis de modelar sem recorrer ao uso de drone ou laser *scan*, ferramentas próprias do HBIM. Notou-se a desvantagem desse processo apenas pelo maior tempo despendido com levantamento de campo de cada elemento da edificação. Porém, como grande do desenvolvimento foi dado aos elementos do interior da igreja, o drone não seria capaz de capturar todos os detalhes, dado a quantidade objetos em seu interior e a dificuldade de sobrevoo no local, sendo necessária a medição manual de qualquer forma. O laserscan (scanner 3dD) é uma solução que atende no levantamento interno e externo, porém é um equipamento de altíssimo custo e ainda pouco presente no Brasil.

Em conclusão, a pesquisa demonstra que os processos, métodos e ferramentas de captura e de modelagem HBIM não precisam passar necessariamente por ferramentas de alta tecnologia ou alto custo, a depender da linguagem das formas do edifício. E que a definição de HBIM, dada pelo uso de nuvem de pontos, deve abarcar outras metodologias e processos de captura, inclusive os manuais.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins, com bolsa PIBIC à autora discente, edital Nº 015/2023, ano 2023-2024.

## REFERÊNCIAS

BANFI, F. BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Ottawa, Canada. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Building

Information Modelling (BIM). Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/building-information-modelling-bim>. Acesso em: 10 agosto de 2024.

CANUTO, Cristiane Lopes; MOURA, Larissa Ribeiro de; SALGADO, Mônica Santos. Tecnologias digitais e preservação do patrimônio arquitetônico: explorando alternativas. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252-264, 2016. DOI: 10.20396/parc.v7i4.8647456.

CONSONI, G. B; MARTINS, P. E. R; JAPUR, L. M. DD; Realidade Aumentada Aplicada ao patrimônio Histórico-arquitetônico:Projeto de aplicativo para a visualização dos prédios históricos da UFRGS. Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul. n. 157, p. 63-67.

COSTA, Heliara Aparecida; SOUZA, Marcio Presente; BALDESSIN, Guilherme; ALBANO, Gabriela; FABRÍCIO, Marcio Minto. Modelagem BIM para o registro digital do patrimônio arquitetônico moderno. Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 49– 68, 2021. DOI: 10.21680/2448-296X.2021v6n1ID21331. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/21331>. Acesso em 04 de agosto de 2024.

IPHAN. História - Porto Nacional (TO). [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1221/#:~:text=Em%201723%2C%20Bartolomeu%20Bueno%20da,navega%C3%A7%C3%A3o%20tamb%C3%A9m%20incentivou%20o%20povoamento,%202020>. Acesso em: 05 de agosto de 2024.

MURPHY, M., McGOVERN, E., PAVIA, S., 2013. Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 76, p. 89-102, feb. 2013. ISSN 0924-2716 doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>

## Capítulo 6

# AVALIAÇÃO DA MODELAGEM DE TÓPICOS APLICADA AO CONTEXTO DE DISCURSOS DOS DEPUTADOS FEDERAIS

Yuri de Sousa Nascimento<sup>1</sup>  
Rafael Lima de Carvalho<sup>2</sup>

## RESUMO

O acesso à informação e sua fácil obtenção são essenciais para garantir a participação ativa da sociedade nas políticas públicas. No Brasil, embora existam várias iniciativas que visam assegurar a transparência das ações do Poder Legislativo, como as atividades plenárias, a transparência nas atividades das comissões do Congresso Nacional ainda é insuficiente. Isso é prejudicial para a sociedade civil, pois as comissões desempenham um papel central no processo legislativo. É nas comissões que ocorrem análises detalhadas das propostas legislativas, debates aprofundados sobre temas de interesse público e deliberações sobre projetos de lei antes que sejam votados no plenário. Este trabalho, utilizando técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), propõe-se a avaliar a eficácia da modelagem automatizada de tópicos, com ênfase na modelagem neural, em discursos das comissões permanentes da Câmara dos Deputados, a fim de melhorar a compreensão e o acompanhamento das atividades legislativas. Os resultados obtidos da pesquisa demonstram a aplicabilidade e eficiência da abordagem neural da modelagem de tópicos para análise de grandes volumes de dados textuais no contexto político. A avaliação quantitativa mostrou que o modelo identifica temas coerentes e bem definidos, porém gerou em torno de 29% de valores atípicos (outliers). A análise qualitativa confirmou que os temas mapeados estão alinhados com as comissões permanentes, mas investigações futuras são necessárias para realizar o autoajuste do modelo avaliado para avaliar as situações dos valores atípicos.

**Palavras-chave:** Processamento de Linguagem Natural; Modelagem Neural de Tópicos; Comissões da Câmara dos Deputados.

<sup>1</sup>Graduando em Ciência da Computação, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, yuri.nascimento@mail.uft.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação, Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, rafael.lima@uft.edu.br

## INTRODUÇÃO

As políticas públicas são amplamente descritas como um conjunto de ações guiadas por agentes internos ou externos das instituições governamentais, tal que essas políticas podem ser vistas como um conjunto de práticas e normas que se originam de um ou mais agentes públicos (RIBEIRO DESOUZA, 2021). As políticas públicas brasileiras são diretamente tratadas pelo Congresso Nacional por meio de seus representantes.

No Brasil, o poder legislativo é exercido pelo Congresso Nacional, composto pelo Senado Federal e pela Câmara dos Deputados. O processo de debate e tomada de decisões em ambas as casas ocorrem em um plenário e em comissões temáticas, de modo que o plenário é responsável pelas decisões finais sobre as proposições que exigem aprovação nesse espaço, reunindo todos os parlamentares de uma casa. Por outro lado, as comissões são formadas por grupos menores de parlamentares que analisam aspectos técnicos e legais das proposições de lei. Em todas as proposições que tramitam no Congresso Nacional, pelo menos uma comissão é envolvida no processo (SANTOS; ANDRADE; MORAIS, 2022).

Historicamente, o acompanhamento dos plenários da Câmara dos Deputados e do Senado Federal tem recebido mais atenção de pesquisadores e projetos de monitoramento do Poder Legislativo, quando comparado com as comissões. Isso se deve, em parte, à disponibilização de dados abertos estruturados sobre as ações e discursos dos parlamentares, à centralização dos debates em um só espaço e à maior atenção da mídia em relação ao plenário. Por outro lado, o acompanhamento das comissões é mais desafiador, pois requer a observação de dezenas de espaços e há muito menos dados estruturados disponíveis. Na verdade, não há dados abertos na Câmara ou no Senado que permitam sequer a análise das falas de suas comissões. Desse modo, vê-se a necessidade do desenvolvimento de métodos eficazes para monitorar as comissões e garantir a

transparência e a *accountability* do Poder Legislativo, visto que o acesso à informação, e sua fácil obtenção, é crucial para garantir a participação ativa da sociedade nas políticas públicas.

Dentro desse contexto, uma das significativas contribuições do estudo apresentado por (SANTOS; ANDRADE; MORAIS, 2022) foi a criação de um ferramental, o fala-camarada, que permite a extração e estruturação em formato *Comma-separated values* (CSV) das transcrições dos discursos dos deputados federais durante as reuniões das comissões na Câmara dos Deputados. Com a disponibilização dos discursos pelo ferramental, é possível acessar e organizá-los de maneira eficiente, facilitando a realização de pesquisas detalhadas sobre os textos provenientes das discussões nas comissões.

De modo geral, a Modelagem de Tópicos é uma subárea da Mineração de Textos que busca identificar tópicos relevantes em um conjunto de documentos. Realizar análises textuais por meio da Modelagem de Tópicos permite identificar automaticamente padrões temáticos em grandes volumes de dados, permitindo agrupar documentos ou trechos de texto com base em tópicos latentes, revelando estruturas e tendências que não são facilmente perceptíveis a olho nu. Um dos primeiros algoritmos propostos para a Modelagem de Tópicos foi o *Latent Dirichlet Allocation* (LDA), sendo ainda no presente um dos modelos de referência neste campo. O LDA é um modelo probabilístico tradicional de modelagem de tópico que assume que cada documento é uma mistura de tópicos e que cada tópico é uma distribuição de probabilidade sobre as palavras, usando métodos de contagem da frequência de palavras no *corpus* para alcançar essas distribuições, usando *Bag of Words*. Por outro lado, modelos neurais modernos de modelagem de tópico (*Neural Topic Modeling*), como o *Topic2Vec* e *BERTopic*, fazem a vetorização de textos – processo de *embedding*

–, possibilitando localizar palavras, sentenças ou documentos similares semanticamente no espaço vetorial (EGGER; YU, 2022),

permitindo fazer uma modelagem considerando as propriedades semânticas dos textos.

Durante a revisão dos trabalhos relacionados, não foi observada a aplicação das técnicas neurais de Modelagem de Tópicos para a análise dos discursos dos deputados federais. Diante disso, o objetivo principal desta pesquisa consistiu em avaliar o desempenho quantitativo e qualitativo da Modelagem Neural de Tópicos, via experimentação computacional, aplicada em um *corpus* de transcrições de discursos proferidos por deputados federais em comissões permanentes.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Por se caracterizar como um trabalho experimental na área de ciência de dados, em especial de aprendizado de máquina, o insumo principal da pesquisa foram os dados. Assim, o primeiro passo consistiu em realizar uma pesquisa exploratória por soluções e repositórios de códigos que lidavam com o acesso e processamento de discursos transcritos de parlamentares da câmara dos deputados. Os resultados das pesquisas levaram a dois repositórios de códigos-fonte abertos, o *fala-camarada* e *topics-chamber-std-committees*, que reúnem transcrições de discursos proferidos em comissões permanentes (SANTOS; ANDRADE; MORAIS, 2022).

Através do *topics-chamber-std-committees*, foi obtido o *corpus* utilizado na presente. Tal conjunto de dados é formado por transcrições de 4140 eventos de comissões permanentes da Câmara dos Deputados de 2008 a 2019. Cada evento é categorizado como: Audiência Pública com Convidado(a) ou Ministro(a); Debate; Fórum; Reunião Extraordinária; Reunião Ordinária; Reunião Técnica; ou Seminário. Ao todo, no *corpus* da pesquisa estão presentes 25 comissões permanentes, que foram responsáveis pela organização do evento. A Tabela 1 mostra a quantidade de eventos realizados por cada comissão permanente. Cada unidade de dado é estruturada usando os

seguintes campos:

1. *id\_evento*: um número inteiro identificando unicamente o evento;
2. *event\_type*: categoria do evento (Reunião Extraordinária, reunião ordinária, etc)
3. *committee*: qual comissão foi a organizadora do evento (CCJC, CSSF, etc)
4. *data*: data do evento no formato aaaa-mm-dd (2008-12-13)
5. *content*: as transcrições das falas dos deputados em todo o evento, separadas por um caractere delimitador '|';

Tabela 1: Quantidade de Reuniões Organizadas por Cada Comissão de 2008 a 2015.

Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania (CCJC)	491	Comissão de Minas e Energia (CME)	122
Comissão de Seguridade Social e Família (CSSF)	396	Comissão de Ciência e Tecnologia (CCTCI)	119
Comissão de Direitos Humanos e Minorias (CDHM)	318	Comissão de Desenvolvimento Econômico (CDEICS)	116
Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS)	304	Comissão de Defesa do Consumidor (CDC)	108
Comissão de Agricultura (CAPADR)	299	Comissão de Segurança Pública e Combate ao Crime Organizado (CSPCCO)	102
Comissão de Legislação Participativa (CLP)	220	Comissão de Finanças e Tributação (CFT)	99
Comissão de Integração Nacional (CINDRA)	205	Comissão de Viação e Transportes (CVT)	89
Comissão de Fiscalização Financeira e Controle (CFFC)	168	Comissão de Desenvolvimento Urbano (CDU)	76
Comissão de Cultura (CC)	149	Comissão dos Direitos da Mulher (CDM)	59
Comissão de Relações Exteriores e de Defesa Nacional (CREDN)	148	Comissão dos Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD)	56

Comissão de Trabalho (CTASP)	146	Comissão do Esporte (Cesp)	54
Comissão de Educação (CEdu)	139	Comissão dos Direitos da Pessoa Idosa (CDPI)	22
Comissão de Turismo (CT)	135		

Os trabalhos apresentados em (SANTOS; ANDRADE; MORAIS, 2021, 2022) foram responsáveis por avaliar a utilização do modelo probabilístico de análise de tópicos chamado *Latent Dirichlet Analysis* (LDA) para fazer descobertas de temas ocultos nas coleções de textos dos discursos dos deputados. De forma geral, o LDA consiste em um modelo probabilístico gerativo usado, principalmente, na Modelagem de Tópicos com fim de sumarizar os conteúdos de grandes conjuntos de dados, como *corpus* de documentos (BLEI; NG; JORDAN, 2003). O desafio computacional apresentado pelo LDA reside na inferência das estruturas temáticas da coleção de documentos. O modelo assume que cada documento é uma mistura de tópicos e que cada tópico é uma distribuição de probabilidade sobre um conjunto de palavras. Desta forma, o LDA assume que cada documento foi criado a partir desses tópicos e distribuições ocultas. O *pipeline* de execução para a descoberta de tópicos do LDA é mostrado na Figura 1.

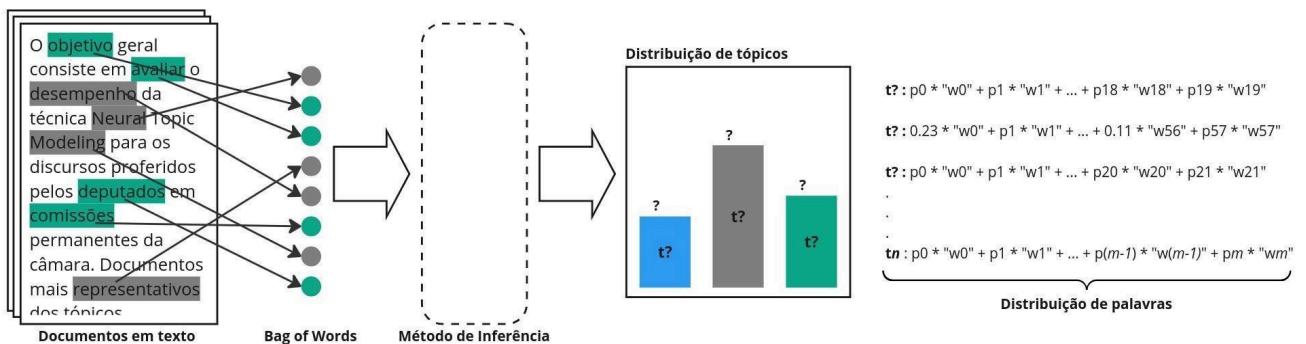


Figura 1: Generalização do Processo da inferência de tópicos latentes do LDA

No trabalho apresentado em (SANTOS; ANDRADE; MORAIS, 2022), os autores mostraram que nenhuma comissão se limita a discutir apenas um determinado assunto em suas reuniões. Outrossim, há uma diversidade a ser considerada nos temas discutidos dentro das transcrições das comissões. Portanto, é fato de que comissões com algum assunto em comum costumam ter semelhanças na distribuição das suas notas taquigráficas, refletindo em uma proximidade nos assuntos abordados. Este é o caso, por exemplo, das comissões do

meio ambiente (CMADS), da agricultura (CAPADR) e da integração nacional (CINDRA).

Outro achado importante da pesquisa de Santos, Andrade e Moraes (2021) é que as comissões permanentes geralmente se concentram em um número limitado de tópicos, geralmente entre 2 e 4. Exceção a esta regra ocorre com a Comissão de Legislação (CLP) que lida com uma variedade maior de temas, já que ela tem a função de acolher e discutir sugestões da sociedade civil, o que a expõe a uma diversidade maior de assuntos em comparação com outras comissões. Além disso, o trabalho mostrou que no período de 2015 a 2019, a Câmara dos Deputados passou a priorizar questões sociais em seus debates, com temas relacionados à Seguridade Social, Direitos Humanos e Assistência Médica, enquanto assuntos como “Trabalho”, “Indústria” e “Economia” perderam a relevância que antes possuíam.

Quanto ao experimento desta pesquisa, adotou-se um modelo neural que faz uso do framework *Sentence-BERT* (SBERT) que permite converter sentenças e parágrafos para vetores dimensionais, ou *embeddings* contextuais, que possibilita capturar propriedades linguísticas a fim de obter uma Modelagem de Tópicos que une atributos como velocidade de processamento enquanto mantém qualidade na inferência (GROOTENDORST, 2022). De forma geral, *embeddings* são representações numéricas de palavras em um espaço vetorial que capturam o significado semântico do texto. Cada palavra, sentença ou documento, a depender do tipo de *embedding*, é convertida em um vetor de valores reais de modo que palavras, sentenças ou documentos com significados semelhantes ou relacionadas semanticamente fiquem próximas umas das outras nesse espaço vetorial (EGGER; YU, 2022). A estrutura de *embeddings* é utilizada principalmente para transformar textos em um formato que modelos matemáticos possam interpretá-los e manipulá-los.

Conforme apresentado em (PAES; VIANNA; RODRIGUES, 2024), um dos principais métodos de geração de *embeddings* contextualizado

que se destacou entre 2017 e 2023 foi o *Transformers*, incluindo o *Bidirectional Encoder Representations from Transformers* (BERT) e o *Generative Pre-trained Transformer* (GPT). Desse modo, para a realização da modelagem neural de tópicos da presente pesquisa, optou-se por utilizar o modelo neural baseado em agrupamento, conhecido como *BERTopic*, que faz uso do *Sentence Transformers* (SBERT) para a geração de *embeddings* de sentenças e de documentos aliado a um algoritmo de agrupamento baseado em variações de densidades conhecido como *Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (HDBSCAN). Este usa uma classe derivada da técnica *Term Frequency — Inverse Document Frequency* (TF-IDF) para gerar representações de tópicos mais coerentes com base na distribuição de palavras do cluster (GROOTENDORST, 2022). A classe *class-based TF-IDF* (c-TF-IDF) calcula a relevância das palavras nos agrupamentos em vez de documentos individuais, permitindo gerar distribuições de tópicos, e de palavras, dos documentos clusterizados. A Figura 2 apresenta os passos principais do pipeline BERTopic.

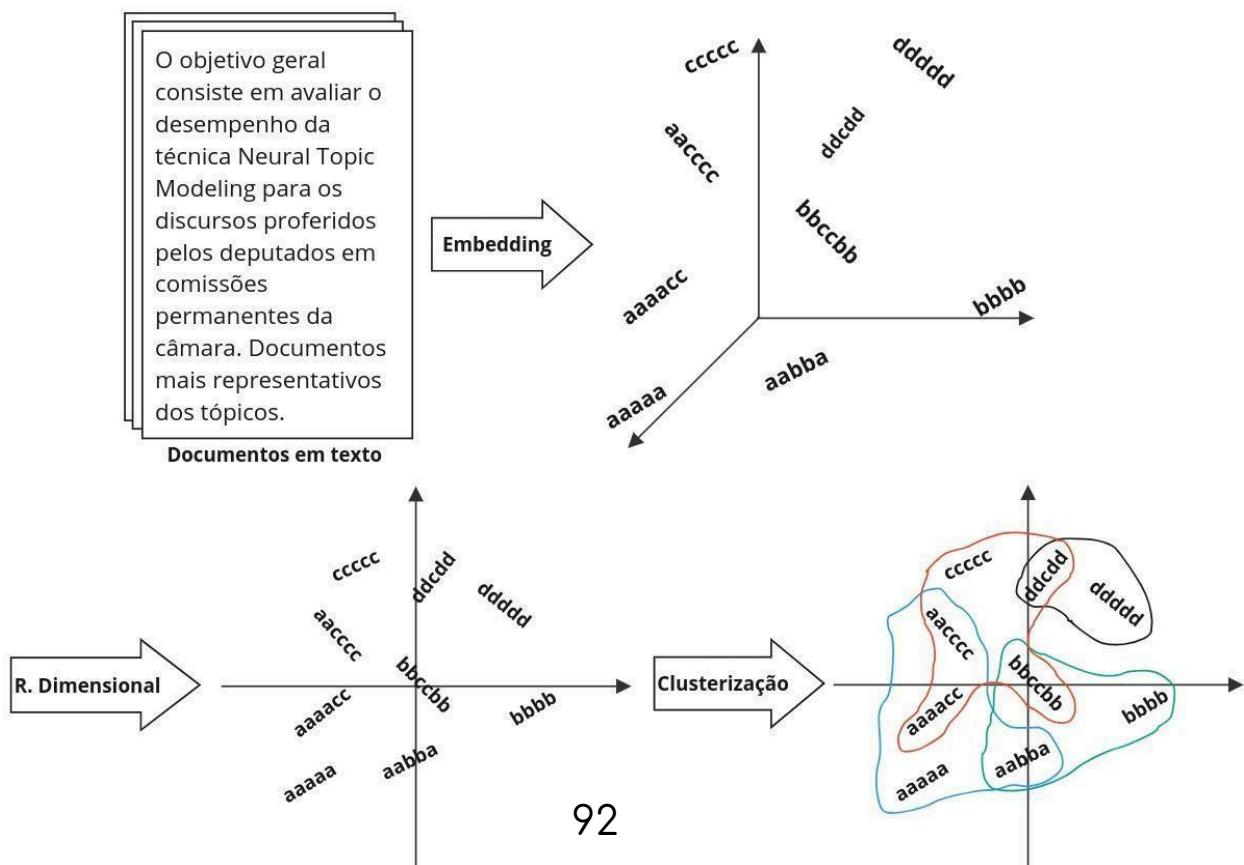


Figura 2: Pipeline de execução do BERTopic

No pipeline apresentado na Figura 2, o passo de *embedding* é a transformação dos documentos em vetores de alta dimensionalidade que possibilita a captura das características semânticas dos textos, mapeando documentos semanticamente semelhantes para vetores próximos no espaço vetorial. Já o segundo passo é a redução da dimensionalidade dos vetores para torná-los mais manejáveis e para facilitar o processo de clusterização posterior. Ao reduzir os vetores de alta dimensão para um espaço de menor dimensão, o *Uniform Manifold Approximation and Projection* (UMAP), o algoritmo padrão usado pelo BERTopic nesse passo, ajuda a manter as relações semânticas essenciais entre os documentos, ao mesmo tempo em que diminui a complexidade computacional.

A última etapa é o agrupamento dos documentos no vetor de dimensionalidade – *embeddins*

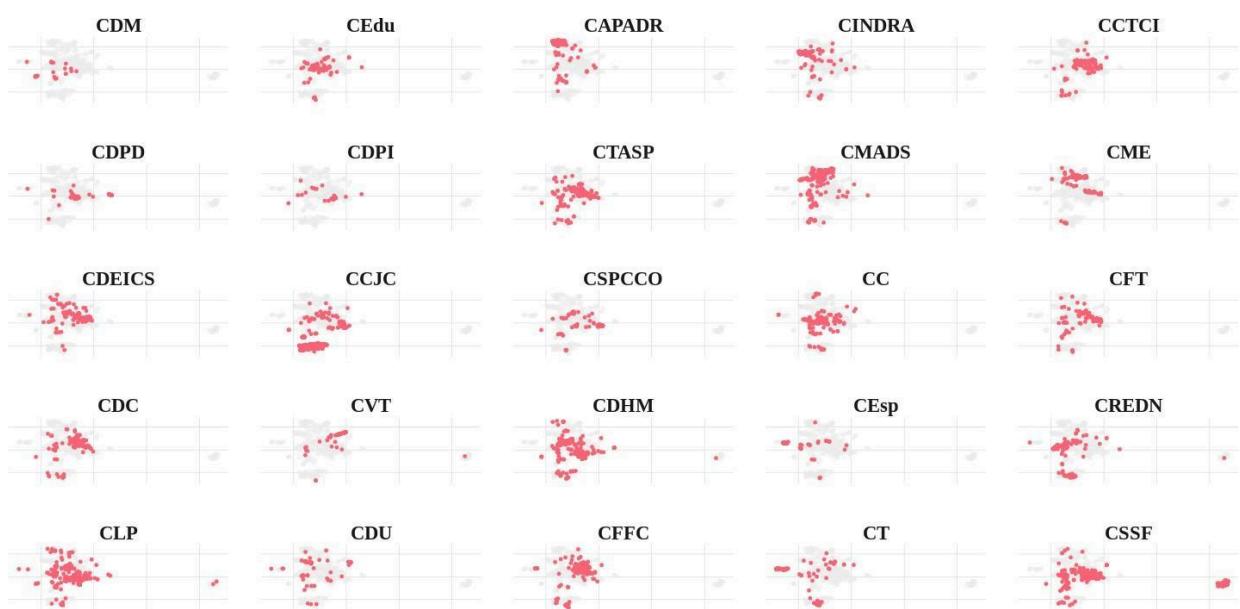
– com o HDBSCAN, que é um algoritmo de agrupamento baseado em densidade que identifica grupos de documentos baseados na densidade dos pontos no espaço vetorial, o que é mais coerente quando se está clusterizando textos, já que não é esperando que no espaço vetorial eles estejam em centróides. Uma característica a se notar no HDBSCAN é sua sensibilidade a documentos ruidosos, possibilitando modelá-los como outliers e prevenindo que esses documentos sejam atribuídos a tópicos qualquer – assim melhorando os clusters para uma melhor representação de tópicos. A partir da clusterização dos documentos, o modelo gera tópicos ao identificar as palavras que estão mais próximas do centróide de cada cluster, utilizando a classe chamada c-TF-IDF (*Class-based Term Frequency-Inverse Document Frequency*), própria do BERTopic.

## RESULTADOS

Para uma análise prévia para ver como as transcrições dos

eventos de comissões se agrupam levando em consideração os assuntos discutidos, fez-se o *embedding* delas usando o algoritmo *Sentence Transformers* (SBERT). A Figura 3 mostra a distribuição dos eventos de cada uma das 25 comissões do *corpus* em um espaço bidimensional, destacando as transcrições de uma comissão permanente.

Figura 3: Documentos de cada Comissão Permanente



Da Figura 3 percebe-se que há disjunção dos transcritos de cada comissão, dando a entender que as transcrições – de uma única comissão – muito distantes no espaço falam de coisas distintas.

Dadas as condições do ambiente de experimentação, o BERTopic descobriu 22 tópicos do *corpus* das transcrições, quantidade próxima à quantidade de comissões temáticas permanentes. Ao todo, das 4140 transcrições de eventos do *corpus*, foram atribuídas a pelo menos um tópico 2905 transcrições, sendo classificadas como *outliers* 1235 transcrições – não condizente com nenhum dos 22 tópicos. Com fim de validar a relação dos tópicos descobertos com as comissões temáticas da câmara, selecionaram-se as 10 palavras mais associadas a cada tópico e, a partir delas, foram definidos rótulos de temas para os

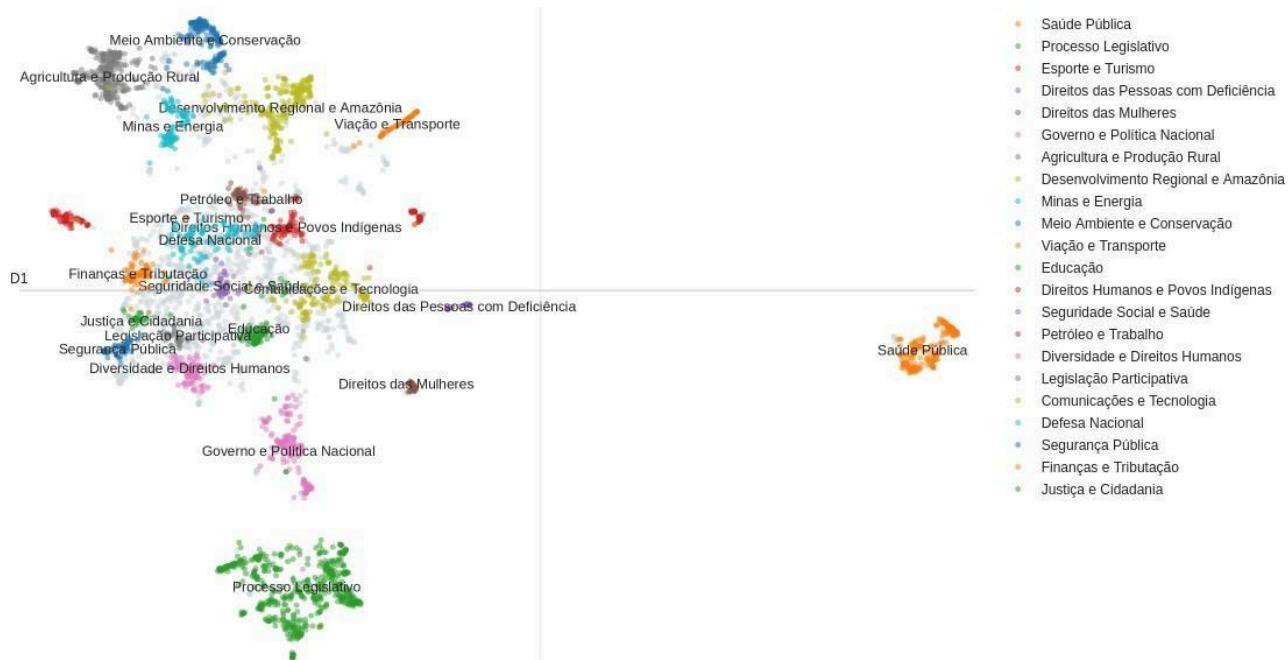
tópicos, como mostrado na Tabela 2.

Tópico	Rótulo Tema	# discursos	Palavras mais associadas
1	Saúde Pública	223	"saúde", "sus", "doença", "pacientes", "paciente", "medicamentos", "tratamento", "câncer", "doenças", "anvisa"
2	Processo Legislativo	574	"exa", "voto", "item", "votação", "projeto", "requerimento", "pauta", "nº", "parecer", "matéria"
3	Esporte e Turismo	136	"turismo", "esporte", "futebol", "atletas", "copa", "jogos", "clubes", "atleta", "olímpico", "copa mundo"
4	Direitos das Pessoas	40	"deficiência", "autista", "autismo", "autistas", "pessoas deficiência", "pessoas", "pessoa deficiência", "pessoa", "conade", "orgulho autista"
5	Direitos das Mulheres	58	"mulheres", "mulher", "violência", "homens", "negras", "gênero", "mulheres", "negras", "meninas", "direitos", "maria penha"
6	Governo e Política Nacional	163	"gente", "governo", "trabalho", "hoje", "anos", "lei", "brasil", "federal", "nacional", "casa"
7	Agricultura e Produção Rural	288	"agricultura", "produtor", "produtores", "produção", "rural", "leite", "agricultura", "familiar", "familiar", "brasil", "sul"
8	Desenvolvimento Regional e Amazônia	243	"amazônia", "região", "pará", "amazonas", "desenvolvimento", "água", "governo", "ambiental", "recursos", "desmatamento"
9	Minas e Energia	93	"energia", "gás", "aneel", "anp", "petrobras", "petróleo", "elétrica", "energia", "elétrica", "gás natural", "eólica"
10	Meio Ambiente e Conservação	168	"animais", "ambiente", "ambiental", "conservação", "água", "cerrado", "espécies", "biodiversidade", "resíduos", "áreas"
11	Viação e Transporte	76	"trânsito", "transporte", "antt", "transportes", "br", "passageiros", "veículos", "denatran", "aeroporto", "rodovias"
12	Educação	100	"educação", "ensino", "escola", "professores", "aluno", "alunos", "escolas", "ensino médio", "universidade", "professor"
13	Direitos Humanos e Povos Indígenas	76	"direitos humanos", "direitos", "humanos", "indígenas", "povos", "anistia", "pessoas", "violência", "brasil", "povos indígenas"
14	Seguridade Social e	48	"saúde", "medicamento", "hospitais", "medicamentos", "médico", "médicos",

	Saúde		"hospital", "sus", "anvisa", "medicina"
15	Petróleo e Trabalho	61	"trabalho", "refinaria", "petrobras", "exa", "oab", "gente", "fiscalização", "governo", "correios", "pasadena"
16	Diversidade e Direitos Humanos	83	"direitos", "direitos humanos", "humanos", "pessoas", "violência", "sociedade", "luta", "lgbt", "direito", "trabalho"
17	Legislação Participativa	30	"ouvidoria", "cgu", "ouvidorias", "participativa", "aprendizagem", "democracia", "dnocs", "sociedade", "legislação participativa", "lei"
18	Defesa Nacional	174	"brasil", "forças", "venezuela", "países", "forças armadas", "armadas", "defesa", "país", "hoje", "nacional"
19	Comunicações e Tecnologia	103	"anatel", "serviço", "consumidor", "empresas", "telecomunicações", "comunicação", "inteligência", "banco", "telefonia", "brasil"
20	Segurança Pública	65	"polícia", "segurança pública", "policial", "segurança", "policiais", "crime", "penal", "pública", "federal", "militar"
21	Finanças e Tributação	72	"tributária", "fiscal", "receita", "imposto", "tributação", "cvm", "reforma", "tributária", "reforma", "crédito", "bilhões"
22	Justiça e Cidadania	31	"publicidade", "judiciário", "lei", "servidores", "injunção", "mandado injunção", "justiça", "urna", "tribunal", "projeto"

Tabela 2: Rótulo, quantidade de transcrições e palavras mais associadas de cada tópico

A análise das palavras mais associadas a cada tópico revela temas coerentes, frequentemente relacionados aos nomes das comissões permanentes da Câmara dos Deputados. A Figura 4 a seguir apresenta graficamente as transcrições de eventos agrupadas pelos 22 tópicos descobertos pelo BERTopic.



Da Figura 4, pode-se observar que as transcrições atribuídas ao tópico “Saúde Pública” não se intersectam com outros transcritos, sendo essa temática específica e estando bem distantes das demais. Por outro lado, há uma pequena intersecção nas transcrições contidas nos tópicos “Processo Legislativo” e “Governo e Política Nacional”, ficando próximas no espaço dimensional, o que faz sentido levando em conta que comissões que tratam dessas questões podem abordar esses temas em seus eventos.

Para verificar a coerência e interpretabilidade dos tópicos – ou seja, a qualidade do conteúdo dos tópicos –, foram lidos alguns documentos associados a eles, confirmando que os discursos correspondem às palavras mais relevantes e à rotulação temática proposta (ver Tabela 2). A Tabela 3 apresenta trechos de documentos associados a alguns tópicos descobertos.

Tabela 3: Trechos de discursos atribuídos a tópicos temáticos inferidos pelo BERTopic

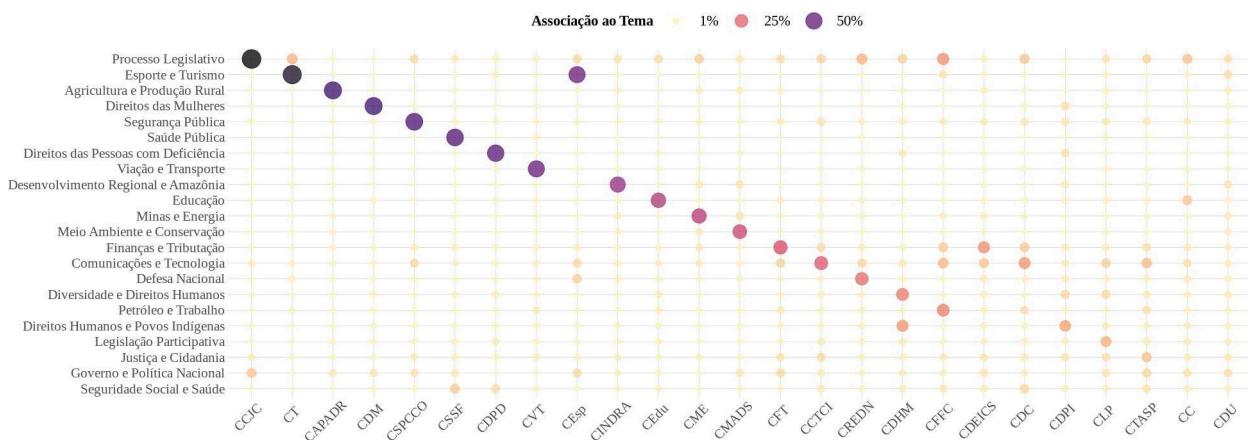
Tópico	Rótulo Tema	Assunto	Trechos
--------	-------------	---------	---------

1	Saúde Pública	Oncologia no SUS	<i>"Esta reunião de audiência pública foi convocada [...] para debater sobre ideias e soluções para a Oncologia no SUS. [...] Dos casos de câncer que chegam às unidades de saúde, 60% estão em estágio avançado. Isso é diferente de outros lugares do mundo. Das mulheres de 25 a 64 anos, 21% não realizaram exame preventivo nos últimos 3 anos." (Seguridade Social e Família)</i>
9	Minas e Energia	Qualidade dos serviços prestados pelas Centrais Elétricas do Pará	<i>"A má distribuição de energia elétrica também é causa de sérios problemas ambientais. No oeste do Estado, onde vivem comunidades isoladas, sem estradas e sem acesso a nenhuma linha de transmissão, a energia é gerada a partir da queima de madeira ou de óleo combustível, que, além de mais cara, é extremamente danosa ao meio ambiente." (Integração Nacional, Desenvolvimento Regional e da Amazônia)</i>
20	Segurança Pública	Redução da Maioridade Penal	<i>"A proposta de redução da maioridade penal divide a opinião de Parlamentares, acadêmicos, juristas, da sociedade em geral, e, se vier a ser decidida em última instância no referendo, como se projeta provavelmente acirrar os ânimos e radicalizará posições. [...] Ao colocar esse assunto em audiência pública, a (Comissão de Legislação Participativa) atende a requerimento do nobre Deputado Lincoln Portela e a sugestão da Associação Educacional dos Trabalhadores de Brasília."</i>

A Tabela 3 apresenta alguns trechos dos discursos e suas relações ao tópico atribuído pelo BERTopic. Levando em consideração as atribuições das comissões permanentes responsáveis pelo evento (em negrito e entre parênteses), faz sentido a discussão de determinado assunto, porém com algumas exceções, como é o caso do trecho do tópico 9, onde a Comissão de Minas e Energia seria a mais especializada a tratar de tal questão.

A Figura 5 apresenta a associação das 25 Comissões Permanentes da Câmara dos Deputados aos 22 tópicos descobertos. Dela, vê-se que a maioria das comissões foca majoritariamente a discutir sobre temas relacionados às suas atribuições, como a CCJC e a CDM. No entanto, comissões como a CDHM e CFFC possuem focos mais diversos. Somado a isso, ainda é possível verificar que a Comissão de Esportes (CEsp) tem dado um pouco de atenção a temas bem distantes do seu foco principal.

Figura 5: Associação das Comissões aos Tópicos Descobertos



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou a aplicação da abordagem neural de Modelagem de Tópicos utilizando o modelo neural BERTopic no corpus de transcrições dos discursos dos deputados federais proferidos nas comissões permanentes da Câmara dos Deputados. A modelagem neural de tópicos se mostrou relevante para mostrar como os discursos, apesar de estarem em diferentes comissões, têm intersecção de alguns assuntos a serem discutidos. Percebeu-se também que a modelagem dos tópicos, mesmo que usando modelos neurais modernos, ainda foi incapaz de agrupar totalmente os assuntos, gerando cerca de 29% de outliers. Entretanto, cabe ressaltar que investigações futuras são requeridas para realizar o auto ajuste dos parâmetros e possíveis combinações de algoritmos de maneira a tentar otimizar o modelo para a geração dos tópicos.

## REFERÊNCIAS

RIBEIRO DE SOUZA, R. V. *Análise Textual dos Projetos de Inovação dos Pesquisadores da UFT à Luz das Áreas Prioritárias do Mctic*. Mestrado—PROFNIT: Universidade Federal do Tocantins, 2021.

BLEI, D. M.; NG, A. Y.; JORDAN, M. I. Latent dirichlet allocation. *The Journal of Machine Learning Research*, v. 3, n. null, p. 993–1022, 1 mar. 2003.

EGGER, R.; YU, J. A Topic Modeling Comparison Between LDA, NMF, Top2Vec, and BERTopic to Demystify Twitter Posts. *Frontiers in Sociology*, v. 7, 6 maio 2022.

GROOTENDORST, M. BERTopic: Neural topic modeling with a class-based TF-IDF procedure. *arXiv*, , 11 mar. 2022. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/2203.05794>>. Acesso em: 29 mar. 2024

PAES, A.; VIANNA, D.; RODRIGUES, J. Modelos de Linguagem. Em: CASELI, H. M.; NUNES, M. G. V. (Eds.). *Processamento de Linguagem Natural: Conceitos, Técnicas e Aplicações em Português*. 2. ed. [s.l.] BPLN, 2024.

SANTOS, M. A. DOS; ANDRADE, N.; MORAIS, F. Topic Modeling of Discussions in the Standing Committees of the Brazilian Chamber of Deputies. *Journal of Information and Data Management*, v. 13, n. 6, 2022.

#### FINANCIAMENTO

“O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil”.

## Capítulo 7

# CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS E POTABILIDADE ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS NO PROJETO AGRÍCOLA SÃO JOÃO PORTO NACIONAL-TO

Wanderson Bruno Fernandes Rodrigues<sup>1</sup>  
Moisés Laurence de Freitas Lima Junior<sup>2</sup>  
Emerson Adriano Guarda<sup>3</sup>  
Patricia Martins Guarda<sup>4</sup>

### RESUMO

A água é um recurso essencial para a manutenção do organismo, o que torna fundamental o consumo de uma água que não represente riscos à saúde. Neste projeto foram realizadas análise da potabilidade da água de poços artesianos de residências no Projeto Agrícola São João, localizado na região central do Tocantins que possui sua economia baseado na agricultura familiar de frutas e hortaliças, esse projeto, que é uma importante fonte abastecimento de alimentos para a região central do estado do Tocantins. Foram realizadas 2 coletas e as análises químicas, físicas e microbiológica realizadas nas amostras coletadas seguiram as metodologias descritas pela APHA. Os resultados obtidos foram comparados com Portaria GM/MS nº 888 estabelece os padrões de potabilidade que determinam se a água é segura para o consumo humano e após obtenção dos parâmetros analisados foi realizado uma Análise de Componentes Principais (PCA) para avaliação de como as variáveis se relacionam e quais os componentes mais significativos. Ao final do trabalho verificou-se contaminação microbiológica em alguns pontos amostrados, assim como foi detectada a presença de glifosato, embora dentro dos limites permitidos pela legislação. Laudos das coletas foram compartilhados com os moradores, acompanhados de orientações sobre como proceder em relação aos resultados insatisfatórios e possíveis danos à saúde a que podem estar expostos ao consumir água imprópria.

**Palavras-chave:** Segurança; Qualidade alimentar; Qualidade de água.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Alimentos, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, [wanderson.bruno@mail.ufc.edu.br](mailto:wanderson.bruno@mail.ufc.edu.br).

<sup>2</sup> Doutorando em Biodiversidade e Biotecnologia, Rede BIONORTE, Universidade Federal do Tocantins, [moises.junior@ifto.edu.br](mailto:moises.junior@ifto.edu.br).

<sup>3</sup> Doutor em Química Orgânica, docente do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, [emersonprof@uft.edu.br](mailto:emersonprof@uft.edu.br).

<sup>4</sup> Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia, docente do Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, [patriciaguarda@uft.edu.br](mailto:patriciaguarda@uft.edu.br).

## INTRODUÇÃO

O Brasil é detentor de uma grande diversidade hídrica, assim, essa água se destina a vários usos, como suprimento de água potável, irrigação, recreação (ARAIAS et al., 2007) e o monitoramento da qualidade desta água é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, logo, a proteção ambiental desse recurso é imprescindível para que estes ecossistemas sejam protegidos (PINTO et al., 2019).

A qualidade e quantidade de água está sendo afetada em escala crescente e intensa pelas atividades antrópicas, principalmente a atividade agrícola (SILVA, 2016, SOUZA et al., 2016).

O principal emprego da água no mundo é agricultura, esta atividade consome esse recurso principalmente para a irrigação de cultivos de grãos, frutas e hortaliças (QUEIROZ et al., 2008).

Lopes e Albuquerque (2021), destacaram em suas pesquisas, que o uso de insumos agrícolas interfere em todo ecossistema (vida animal e humana), e destacam ainda que esses impactos são dos mais variados, podendo interferir de forma muito negativamente na saúde humana. Esses insumos estão relacionados a casos de intoxicações e outros agravos à saúde tem aumentado, bem como a alterações celulares, carcinogenicidade e casos de disfunção endócrina estão associados a esses usos. Uma água de considerada boa é aquela com um padrão o mais próximo possível do natural (SILVA, 2016). Os critérios de qualidade da água e seus valores de referência são estabelecidos para o perfeito funcionamento de um ecossistema, assim como segurança em relação à saúde humana. Esses critérios estabelecidos pela legislação, são os que nos dão garantia de que o manejo não afete a integridade de condições físicas, químicas e biológicas da água (QUEIROZ et al., 2008).

O Projeto de Irrigação São João, situado na área rural de Porto Nacional, TO, próximo a Palmas, é crucial para o abastecimento local e exportação de produtos agrícolas. Com uma área total de 5.129,25 hectares, dos quais 3.506,67 ha são irrigáveis e 950 ha estão em produção, o projeto abrange 326 lotes de pequenos produtores e 34

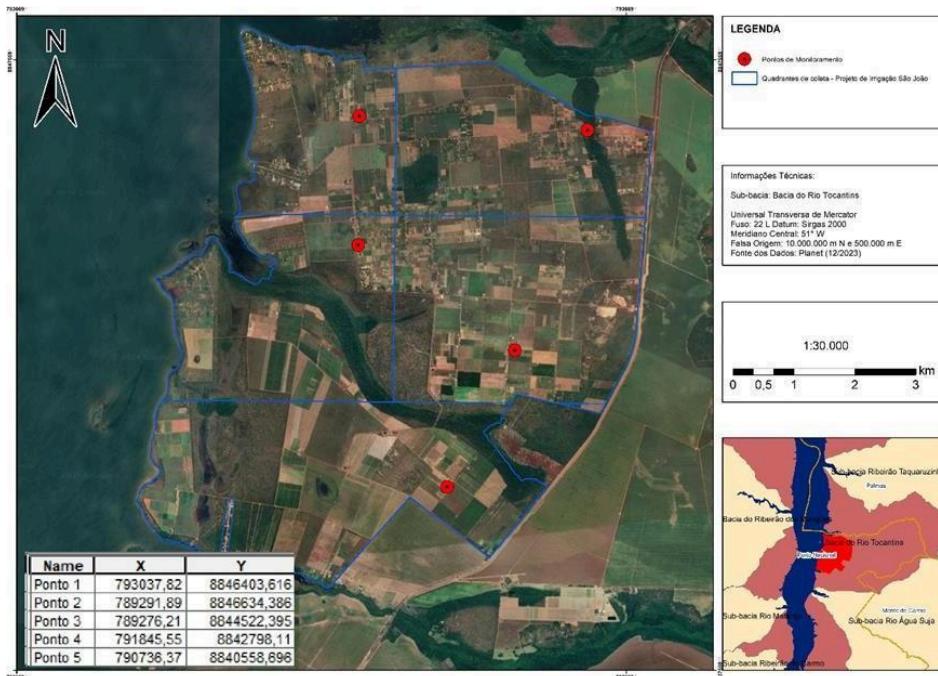
empresariais. Cultiva frutas e vegetais variados, com potencial de produção de até 40 toneladas por hectare. Localizado às margens do Rio Tocantins, é um importante recurso hídrico nacional e desempenha papel significativo na agricultura regional (TOCANTINS, 2019).

O trabalho apresentado tem como objetivo avaliar a qualidade da água utilizada para consumo humano no Projeto de Irrigação São João, investigando possíveis contaminações químicas e microbiológicas, incluindo agrotóxicos e microrganismos patogênicos, em poços situados em um projeto de fruticultura em expansão. A pesquisa busca compreender os impactos dessa água na saúde das pessoas que utilizam poços artesianos para consumo e preparo de alimentos. Os resultados obtidos são essenciais para garantir a segurança alimentar, apoiar a formulação de políticas públicas de saúde na região, orientar decisões dos órgãos responsáveis e promover uma gestão eficaz de práticas agrícolas sustentáveis, assegurando a qualidade de vida da população local.

## MÉTODO E MATERIAIS

As coletas das amostras foram realizadas no mês de fevereiro considerado um mês chuvoso no Tocantins, a região foi dividida em 5 quadrantes, onde foi realizada a coleta de um ponto em cada um dos quadrantes, denominados de P1 a P5 conforme a Figura 1. As coletas das amostras foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por CETESB (2011) e Filizola *et al.* (2016).

Figura 1: Mapa dos pontos de coleta.



Fonte: Autor, 2024.

A partir da escolha da área de estudo e dos pontos, foram selecionados os parâmetros de análises a serem feitos com base na legislação vigente. Atualmente, a qualidade de água para consumo humano é regida pela Portaria GM/MS 888, de 04 de maio de 2021, que determina as análises a serem feitas para definir a sua potabilidade. Assim, foram definidos os seguintes parâmetros apresentados na tabela abaixo. As metodologias utilizadas para as análises também se encontram apresentados nesta Tabela 1:

Tabela 1: Métodos de referências utilizados nas análises físico-químicas, microbiológicas e agrotóxico.

PARAMETROS	METODOS DE REFERENCIAS
Temperatura (°C)	Potenciometria - APHA (2017)
Condutividade Elétrica (µs/cm)	Potenciometria - APHA (2017)
Turbidez (NTU)	Nefelometria- APHA (2017)
Sólidos Totais Dissolvidos (PPM)	Potenciometria - APHA (2017)
Cor aparente (pt/L)	Espectrofotometria - APHA (2017)
pH (Escala)	Potenciometria - APHA (2017)
Cloreto (mg. L <sup>-1</sup> )	Titulometria APHA (2017)
Cloro livre (mg. L <sup>-1</sup> )	Espectrofotometria - APHA (2017)
Ferro (mg. L <sup>-1</sup> )	Espectrofotometria - APHA (2017)
Manganês (mg. L <sup>-1</sup> )	Espectrofotometria - APHA (2017)
Sulfato (mg. L <sup>-1</sup> )	Cromatografia Iônica - APHA (2017)

Sódio ( $mg. L^{-1}$ )	Cromatografia Iônica - APHA (2017)	
Potássio ( $mg. L^{-1}$ )	Cromatografia Iônica - APHA (2017)	
Alumínio total ( $mg. L^{-1}$ )	Espectrofotometria - APHA (2017)	
Fluoreto ( $mg. L^{-1}$ )	Espectrofotometria - APHA (2017)	
Dureza	Cálcio ( $mg. L^{-1}$ )	Titulometria- APHA (2017)
	Magnésio ( $mg. L^{-1}$ )	Titulometria- APHA (2017)
	Tota ( $mg. L^{-1}$ )	Titulometria- APHA (2017)
Nitrogênio	Amônia ( $mg. L^{-1}$ )	Espectrofotometria - APHA (2017)
	Nitrito ( $mg. L^{-1}$ )	Espectrofotometria - APHA (2017)
	Nitrato ( $mg. L^{-1}$ )	Espectrofotometria - APHA (2017)
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Substrato Enzimático - APHA (2017)	
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Substrato Enzimático - APHA (2017)	
Glifosato ( $mg. L^{-1}$ )	Cromatografia Iônica - APHA (2017)	

Fonte: Autor, 2024.

As amostras foram coletadas em garrafas plásticas de 2 litros para as análises físico-químicas e em frascos estéreis de 100 ml para as análises microbiológicas, e condicionadas em caixa térmica com refrigeração até a chegada no Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e Biocombustíveis (LAPEQ) onde foram analisadas logo após a sua chegada.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada pois é uma técnica estatística usada para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados, transformando muitas variáveis correlacionadas em um menor número de variáveis não correlacionadas, chamadas componentes principais. A PCA é útil para identificar padrões nos dados e para expressar os dados de tal forma que as similaridades e diferenças sejam destacadas. A análise estatística foi conduzida utilizando um script desenvolvido pelos autores em R, no ambiente R Studio. Foram empregados os pacotes 'corrr', 'ggcorrplot', 'FactoMineR', 'tidyverse' e 'ggbiplot' para as diferentes etapas de processamento e visualização dos dados.

## DADOS E DISCUSSÃO

A partir da realização das análises, conforme estabelecido pela portaria nacional de potabilidade, a GM/MS 888, de 04 de maio de 2021, foram obtidos os seguintes resultados descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados das análises físico-químicas, microbiológicas e agrotóxico da primeira coleta.

PARAMETROS	L.Q	V.M.P.	P1	P2	P3	P4	P5
Temperatura (°C)	-10	*	25	25	25	25	25
Condutivida Elétrica de ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	2,00	*	16,29	37,07	8,38	15,47	8,72
Turbidez (NTU)	0,01	5	1,26	0,60	0,06	0,66	3,10
Sólidos Dissolvidos Totais (PPM)	0,01	500	8,14	18,15	4,20	7,72	4,35
Cor aparente (pt/L)	3	15	3	/	5	4	9
pH (Escala)	-2,00	*	5,07	5,24	5,25	5,22	5,46
Cloreto ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,2	250	6,82	7,50	7,95	7,27	7,04
Cloro livre ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,02	5	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02
Ferro ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,02	0,3	0,02	0,11	<0,02	0,03	<0,02
Manganês ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,006	0,1	<0,006	0,012	<0,006	<0,006	<0,006
Sulfato (	0,320	250	1,871	1,187	1,857	1,961	1,365
Sódio ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,341	200	6,244	11,963	8,819	7,982	7,340
Potássio ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,155	*	1,711	2,198	1,893	1,264	1,396
Alumínio total ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,008	0,1	0,036	0,048	0,019	0,026	0,044
Fluoreto ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,02	1,5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dureza	Cálcio ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	2,0	*	5,60	5,20	2,60	5,20
	Magnésio ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	2,0	*	23,40	41,60	13,00	20,48
	Total ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	2,0	300	26,00	46,80	15,60	23,40
Nitrogênio	Amônio ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,02	1,2	<0,02	<0,02	0,11	0,03
	Nitrito ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,002	1	0,10	0,07	0,10	0,009
	Nitrito ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,1	10	0,4	0,6	0,3	0,4
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Ausência	Ausente em 100 ml	Presente	Ausente	Presente	Presente	Presente
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Ausência	Ausente em 100 ml	Presente	Ausente	Ausente	Presente	Presente
Glifosato ( $\text{mg. L}^{-1}$ )	0,006	500	0,057	0,046	0,077	0,032	0,045

Observações: (LQ) - Limite de quantificação; (V.M.P.) - Valor máximo permitido pela portaria GM/MS 888 de 04 de maio de 2021; (-) - Não possui limite de quantificação; (\*) - Não há valor estabelecido na GM/MS 888 de 04 de maio de 2021.

Fonte: Autor, 2024.

Após as análises físico-químicas e microbiológicas, percebeu-se que todos os parâmetros físico-químicos estão em conformidade com a portaria de potabilidade vigente, no entanto, as análises microbiológicas mostraram que alguns pontos apresentaram

contaminações por coliformes totais e *Escherichia coli*, sendo os pontos P1, P4 e P5 os pontos com resultados em desconformidade. No entanto, o ponto P3 só apresentou contaminação por coliformes totais.

Os coliformes são um grupo de bactérias encontradas no intestino de mamíferos, incluindo humanos, e em ambientes aquáticos e no solo. A presença de coliformes na água, especialmente em grandes quantidades, pode indicar contaminação fecal e potencialmente indicar a presença de organismos patogênicos que podem causar doenças transmitidas pela água.

A *Escherichia coli* (*E. coli*) é uma bactéria comumente encontrada no intestino humano e de outros animais. Enquanto muitas cepas de *E. coli* são inofensivas e até mesmo benéficas para o sistema digestivo, algumas cepas podem causar doenças em humanos.

Após a determinação de glifosato, pode-se observar que embora o valor encontrado após as análises estejam dentro do valor máximo permitido pela portaria GM/MS 888 de 2021, o valor de concentração deste ingrediente ativo nas amostras preocupa e deve ser monitorado com frequência.

O Glifosato foi quantificado nas águas de poços artesianos mesmo ele apresentando o comportamento ambiental de não lixiviação e baixa bioacumulação (PPDB, 2023) Ele é um herbicida não seletivo, comum e eficaz. Não é persistente nos solos, mas pode persistir em sistemas aquáticos sob certas condições. É moderadamente tóxico para os seres humanos e irritante para a pele e os olhos. É moderadamente tóxico para aves, a maioria dos organismos aquáticos, minhocas e abelhas. O princípio ativo apresenta propriedades para baixa lixiviação, mesmo assim, foi possível encontrá-lo presente nas águas de poços na região do projeto de irrigação. Isso, evidencia que mesmo o projeto não estando em funcionamento, os poucos produtores que permanecem no local, ainda fazem o uso dessa substância de maneira que coloca em risco a saúde dos demais moradores.

A Tabela 2 da Portaria GM/MS 888 define um limite para a concentração de um determinado princípio ativo, neste caso o glifosato. Esta diferença entre o valor máximo permitido e os limites estabelecidos por outros países, evidenciando preocupações quanto à segurança dos padrões adotados. Essa discrepância destaca uma possível permissividade na legislação brasileira em comparação com outros países, como na Europa, onde os limites são significativamente mais baixos, chegando a ser até 5000 vezes menor (BRASIL, 1990; PPDB, 2023; BOMBARDI, 2017).

Após a interrupção do bombeamento de água do projeto de irrigação, pequenos produtores buscam novas formas de sustento, enquanto produtores com mais recursos perfuram poços artesianos. Mesmo com o projeto parado, foi detectada a presença do princípio ativo em uso, o que sugere um aumento de sua concentração quando o projeto retomar, já que o produto é amplamente comercializado, com mais de 266 mil toneladas vendidas em 2022 (IBAMA, 2024; NODARI; HESS, 2020).

Tabela 4: Resultados das análises físico-químicas, microbiológicas e agrotóxico da segunda coleta

PARAMETROS	L.Q	V.M.P.	P1	P2	P3	P4	P5
Temperatura (°C)	-10	*	25	25	25	25	25
Condutividade Elétrica (µs/cm)	2,00	*	10,30	26,65	0,29	0,21	5,52
Turbidez (NTU)	0,01	5	1,96	0,50	0,16	0,28	0,68
Sólidos Totais Dissolvidos (PPM)	0,01	500	5,10	13,34	0,34	0,10	2,73
Cor aparente (pt/L)	3	15	3	<3	<3	<3	<3
pH (Escala)	-2,00	*	5,62	5,80	5,48	5,16	5,33
Cloreto (mg. L <sup>-1</sup> )	0,2	250	10,68	13,96	11,61	10,22	10,68
Cloro livre (mg. L <sup>-1</sup> )	0,02	5	<0,02	0,54	<0,02	<0,02	<0,02
Ferro (mg. L <sup>-1</sup> )	0,02	0,3	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04
Manganês (mg. L <sup>-1</sup> )	0,006	0,1	0,031	0,043	0,010	0,040	0,051
Alumínio total (mg. L <sup>-1</sup> )	0,008	0,2	<0,008	0,021	<0,008	<0,008	0,019
Sulfato (mg. L <sup>-1</sup> )	0,320	250	1,98	5,87	1,96	3,522	3,31
Sódio (mg. L <sup>-1</sup> )	0,341	200	3,633	8,612	8,601	12,545	18,404
Potássio (mg. L <sup>-1</sup> )	0,155	*	0,683	2,155	1,318	3,138	4,009
Fluoreto (mg. L <sup>-1</sup> )	0,02	1,5	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Dureza	Cálcio (mg. L <sup>-1</sup> )	2,0	*	5,08	10,16	2,54	5,08
	Magnésio (mg. L <sup>-1</sup> )	2,0	300	10,16	27,94	7,62	17,78
	Total (mg. L <sup>-1</sup> )	2,0	300	15,24	38,10	10,16	22,86
							10,16

Nitrogênio	Amônia (mg. L <sup>-1</sup> )	0,03	1,2	0,501	0,571	0,713	0,152	0,669
	Nitrito (mg. L <sup>-1</sup> )	0,007	1	0,074	0,082	0,075	<0,007	0,078
	Nitrito (mg. L <sup>-1</sup> )	0,1	10	0,558	4,102	2,261	0,436	1,944
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Ausência	Ausent e em 100 ml	Presente	Ausent e	Presente	Presente	Ausente	
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	Ausência	Ausent e em 100 ml	Ausente	Ausent e	Presente	Presente	Ausente	
Glifosato (mg. L <sup>-1</sup> )	0,006	500	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006

Observações: (LQ) - Limite de quantificação; (V.M.P) – Valor máximo permitido pela portaria GM/MS 888 de 04 de maio de 2021; (-) - Não possui limite de quantificação; (\*) - Não há valor estabelecido na GM/MS 888 de 04 de maio de 2021.

Fonte: Autor, 2024.

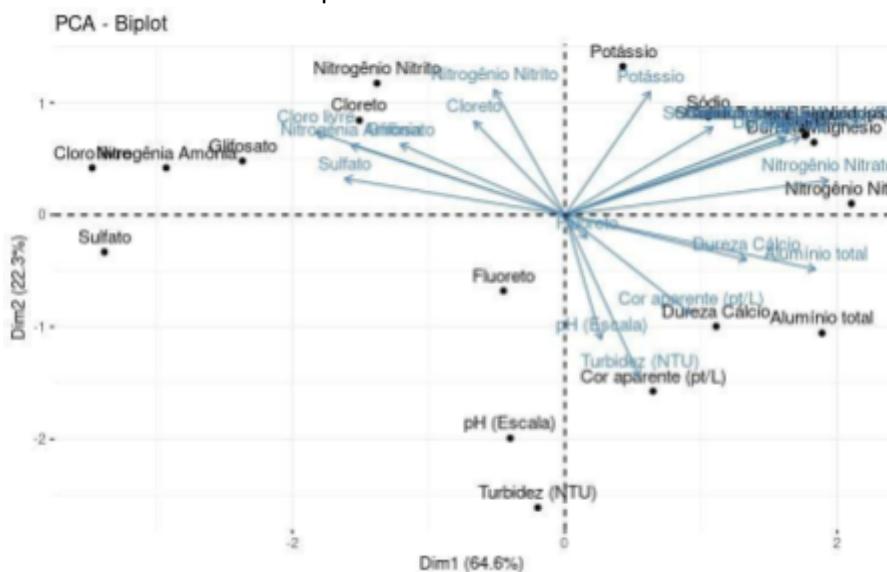
A partir dos resultados obtidos observou-se uma assimetria nos resultados microbiológicos do ponto P5, já que na primeira coleta realizada, houve contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*. Isso pode estar atribuído a limpeza que foi realizada e uma reforma que ocorreu no sistema. Isso indica, que a contaminação anterior pode estar relacionada com o sistema de abastecimento. Por mais que a coleta seja realizada no ponto mais próximo ao poço, ainda estar suscetível a passar por encanações que muitas vezes são inapropriadas para a utilização no sistema.

No ponto P2, a análise de cloro obteve-se uma quantidade de 0,54 mg. L<sup>-1</sup> de cloro livre, esse resultado é por conta da obtenção de um sistema cloração que é feita dentro da rede de distribuição. O resultado ainda se encontra dentro do limite estabelecido pela GM/MS 888 de 2021. São adicionadas pastilhas dentro de uma cápsula que é acoplada nas tubulações do sistema.

Com a análise de PCA, que é uma técnica de estatística multivariada, que transforma o conjunto de variáveis originais em outro conjunto e variáveis que compõe a mesma dimensão, pode- se fazer uma análise geral dos resultados encontrados (Figura 2). Esses componentes apresentam propriedades importantes: pois cada componente é uma combinação linear das variáveis anteriores, as originais. Elas são independentes e estimadas com o propósito de reter,

em ordem de estimação o máximo de informações em termo de variação contida nos dados (HONGYU; SANDANIELO; JUNIOR, 2016).

Figura 2: Gráfico PCA Biplot coleta 1



Fonte: Autor, 2024

O gráfico PCA Biplot mostrou o comportamento das variáveis e como se relacionam no espaço dos dois primeiros componentes principais: Dim1 que explicou a maior parte da variabilidade nos dados (64.6%), e Dim2 que explicou uma quantidade significativa, mas menor, da variabilidade (22.3%). Ao interpretar esses resultados observou-se que setas Próximas e Longas, indicam uma forte correlação entre as variáveis e uma contribuição significativa para a variabilidade explicada.

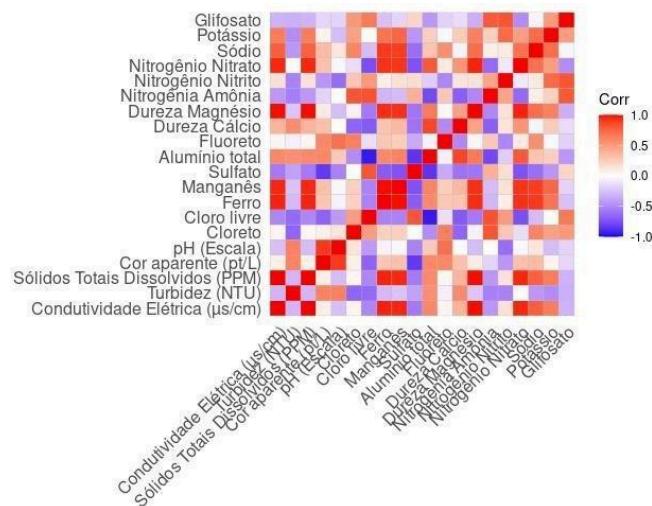
Logo, ao analisarmos o Cloreto, Cloro Livre, Nitrogênio - Amônia, Nitrogênio - Nitrato, Nitrogênio - Nitrito verificou-se que esses parâmetros estão agrupados na parte superior direita do gráfico, sugerindo uma forte correlação entre eles. Eles estão relacionados com o tratamento de água e a presença de poluentes nitrogenados. Pode ser observado que para o pH e Turbidez, esses parâmetros estão mais isolados, o que pode indicar que têm uma menor correlação com outros parâmetros ou que são influenciados por diferentes fatores (WHO, 2017).

Quando se analisou a distribuição das amostras, pode-se verificar

que a amostras próximas às setas de Cloreto, Cloro Livre, e Nitrogênio, indicam águas potencialmente tratadas com desinfetantes ou que contêm níveis elevados de compostos nitrogenados, possivelmente devido a escoamento agrícola ou contaminação por esgoto. Já as amostras isoladas como Sulfato, Cloro, Nitrogênio – Amônia, podem indicar fontes específicas de contaminação ou processos geológicos naturais (DJITLI et al, 2021).

Abaixo na Figura 3 pode-se verificar o gráfico de correlação da Coleta 1 realizada no período de fevereiro. O gráfico de correlação fornece insights detalhados sobre as relações entre as variáveis medidas:

Figura 3: Gráfico de correlação coleta 1.



Fonte: Autor, 2024

O analisar o Gráfico 3 pode-se fazer as correlações positivas listadas abaixo:

- Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Cloreto: Essas variáveis estão fortemente correlacionadas, sugerindo que a presença de cloretos e outros sais contribui significativamente para a condutividade elétrica e a concentração de sólidos dissolvidos na água. Dureza (Cálcio e Magnésio): Forte correlação entre essas duas variáveis indica que a presença de cálcio e magnésio está diretamente

relacionada à dureza da água.

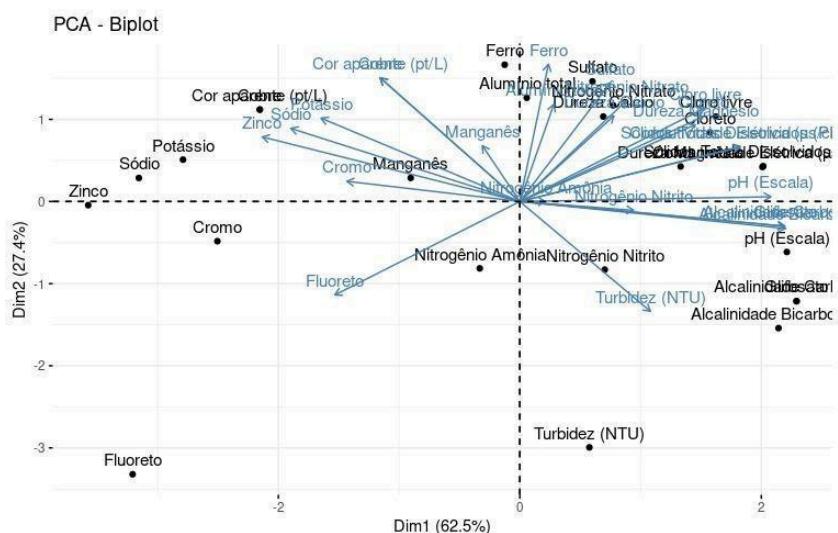
- pH e Cloro Livre: Correlação positiva moderada, indicando que níveis mais elevados de cloro livre estão associados a pH mais neutro a alcalino, o que é favorável para a desinfecção da água.

Sendo as correlações negativas:

- pH e Alumínio Total: A correlação negativa entre pH e alumínio total sugere que em águas mais ácidas (pH mais baixo), a concentração de alumínio dissolvido tende a ser maior. Sulfato e pH: Indica que a presença de sulfatos pode estar associada a uma diminuição no pH, tornando a água mais ácida.

A Figura 4 apresenta o Gráfico de PCA para a coleta 2 realizada em junho:

Figura 4: Gráfico PCA Biplot coleta 2.



Fonte: Autor, 2024.

O gráfico PCA Biplot forneceu uma visualização das relações entre as variáveis medidas e como elas se distribuíram nos dois primeiros componentes principais:

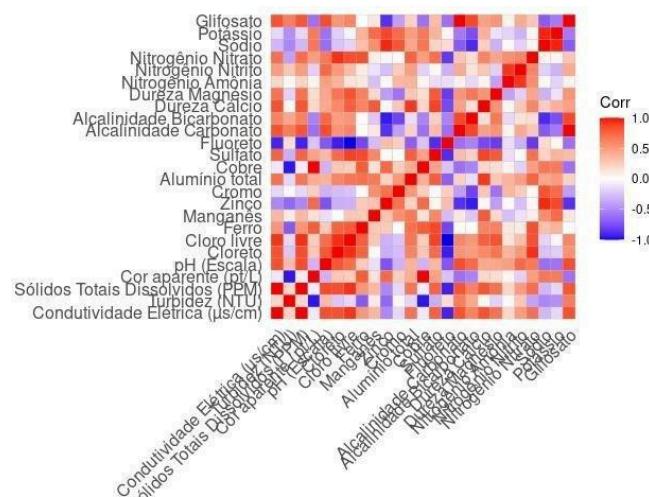
Dim1 explicou 62.5% da variabilidade total nos dados, sendo o componente mais significativo o Dim2 explicou 27.4% da variabilidade total nos dados, adicionando uma dimensão secundária importante.

Ao realizar a Interpretação da Figura 4 pode-se fazer algumas observações listadas abaixo:

- Ferro, Alumínio Total, Manganês: Essas variáveis estão fortemente correlacionadas e são determinantes para Dim1. Esse agrupamento sugere que essas amostras podem estar influenciadas por fontes de contaminação metálica, possivelmente devido a escoamento de águas residuais industriais ou intemperismo natural de minerais (TAYLOR et al, 2018).
- Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Condutividade Elétrica, Dureza (Cálcio e Magnésio): Estas variáveis também são fortemente correlacionadas, indicando águas com alta mineralização. Isso é indicativo de águas duras, que podem ser resultado da presença de sais dissolvidos e minerais na água (WHO, 2017).
- Fluoreto: Esta variável se destaca de outras, sugerindo uma característica particular em algumas amostras, que pode estar relacionada a fontes específicas de contaminação ou propriedades geológicas locais (WHO, 2017).
- Turbidez (NTU): Está associado com Dim2, sugerindo que a turbidez é uma variável importante, possivelmente associada à presença de partículas em suspensão na água, o que pode estar relacionado à erosão ou contaminação orgânica.

O Gráfico de correlação da coleta 2 realizada no mês de junho, apresentado na Figura 5, mostrou que a relação entre as diferentes variáveis de qualidade da água positivas e negativas.

Figura 5: Gráfico de correlação coleta 2.



Fonte: Autor, 2024.

Correlações Positivas Fortes:

- Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Dureza (Cálcio e Magnésio): Estas variáveis estão fortemente correlacionadas, o que indica que águas com alta condutividade elétrica também tendem a ter uma alta concentração de sólidos dissolvidos e dureza elevada, sugerindo alta mineralização (TAYLOR et al., 2018).
- Ferro, Alumínio Total, Manganês: Correlações fortes entre esses metais sugerem que eles podem ter uma origem comum, como a lixiviação de minerais ou poluição industrial (DJITLI et al., 2021).

Correlações Negativas:

- Fluoreto e Turbidez: A correlação negativa entre esses parâmetros sugere que águas mais turvas têm menores concentrações de fluoreto, o que pode ser indicativo de diferentes fontes de poluição ou processos de tratamento.
- Alcalinidade e Metais (Ferro, Manganês): Correlações negativas entre a alcalinidade e certos metais podem indicar que águas mais alcalinas têm menos tendência a dissolver metais pesados, o que é um fator positivo para a qualidade da água. Portanto, isso é um indicativo de que essas águas têm um potencial menor de toxicidade de metais pesados (STUMM; MORGAN, 1996; GOSWAMI, 2023).

Os resultados destacam a vulnerabilidade dos moradores da região, evidenciando que a utilização de água contaminada compromete a segurança alimentar e a saúde pública. Apesar da aparência de limpeza, a água contaminada pode transmitir patógenos aos alimentos, colocando em risco a saúde dos consumidores. Esse problema pode levar a surtos de doenças infecciosas e aumentar a carga sobre os sistemas de saúde locais, refletindo a necessidade urgente de melhorias na gestão e tratamento da água. Além disso, a contaminação pode afetar a confiança dos consumidores nos produtos agrícolas da região, impactando negativamente a economia local (NAIR;

PRASAD, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que os poços nos pontos P1, P3 e P4 são impróprios para consumo, apresentando riscos à saúde e violando a portaria brasileira de potabilidade, com potencial para transmitir doenças de origem hídrica e causar problemas gastrointestinais graves. Por outro lado, os pontos P2 e P5 estão em boas condições para consumo, desde que a higienização do sistema de abastecimento seja mantida. A limpeza e reforma do sistema parecem ter reduzido a contaminação em alguns pontos na segunda coleta. Os gráficos de PCA indicaram fortes correlações entre cloreto, cloro livre e compostos nitrogenados, sugerindo uma relação com o tratamento da água e fontes de poluição, enquanto pH e turbidez mostram variabilidades específicas. Além disso, a correlação entre condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e dureza reflete a alta mineralização da água.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 02, de 08/03/1990. BOMBARDI, Larissa Mies. Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia. 1. ed. SÃO PAULO: [s.n.], 2017. p. 1-296.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre osprocedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2021. Acesso em: 24 mar. 2023
- CETESB- Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- Dissertation (Master in Sustainable Process Technology). Goiás Federal Institute of Science and Technology Education, Goiânia, 2015. VIEIRA, E. Impacto ambiental em área com aplicação de agrotóxicos no município de Brotas, SP. 2012. Ph D Thesis (Doctorate in Agronomy) - Faculty of Agronomic Sciences, Universidade Estadual Paulista, Botucatu., 2012.

DJITLI, Y.; BOIX, D.; MILLA, A.; MARNICHE, F.; TORNERO, I.; DAOUDI-HACINI, S. Annual cycle of water quality and macroinvertebrate composition in Algerian wetlands: A case study of lake Réghaïa (Algeria). *Limnetica*, v. 40, n. 2, p. 399-415, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.23818/limn.40.27>. Acesso em: 3 set. 2024.

FILIZOLA, E. F.; GOMES, M. A. F. SOUZA, M.D., Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016.

GOSWAMI, Debasish; MONDAL, Mrinmoy; CHATTERJEE, Debarshi; GHOSH, Shyamapada. Occurrence, source, and mobilization of iron, manganese, and arsenic pollution in shallow aquifer. *Hindawi*, 2023. Disponível em: <https://www.hindawi.com>. Acesso em: 3 set. 2024.

GUARDA, P. M., PONTES, A. M. S., DOMICIANO, R. S.; GUALBERTO, L. S.; MENDES, D. B.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. Analysis of triazines, triazoles, and benzimidazoles used as pesticides in different environmental compartments of the Formoso River and their influence on biodiversity in Tocantins. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, v. 55, n. 9, p. 783-793, 2020.

GUARDA, P. M., PONTES, A. M. S., DOMICIANO, R. S.; GUALBERTO, L. S.; MENDES, D. B.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. (2020) Determination of Carbamates and Thiocarbamates in Water, Soil and Sediment of the Formoso River, TO, Brazil. *Chemistry & Biodiversity*, v.17, n.4, e1900717, 2020. GUARDA, P. M., PONTES, A. M. S., DOMICIANO, R. S.; GUALBERTO, L. S.; MENDES, D. B.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C. Assessment of Ecological Risk and Environmental Behavior of Pesticides in Environmental Compartments of the Formoso River in Tocantins, Brazil. *Arch Environ Contam Toxicol*, v.79, p.524-536, 2020.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. de O. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. *Engineering and Science*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016. DOI: 10.18607/ES201653398. Disponível em:

<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3398>. Acesso em: 26 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE – IBAMA. Relatórios de comercialização de agrotóxicos. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso 04 set 2024.

MARTINI, L. F. D.; CALDAS, S. S.; BOLZAN, C. M.; BUNDT, A. C.; PRIMEL, E. G.; AVILA, L. A. Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. *Cienc. Rural*, v.42, n.10, p.1715-1721, 2012.

NAIR, A.; PRASAD, S. Impact of contaminated water on food safety and public health. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, v. 20, n. 1, p. 112-123, 2022.

- NODARI, R. O., HESS, S. C. Campeão de vendas, cientificamente o glifosato é um agrotóxico perigoso. *R. Eletr. de Extensão*, Florianópolis, v. 17, n. 35, p. 02-18, 2020. DOI: 10.5007/1807-0221.2020v17n35p2.
- QUEIROZ, J. F.; SILVA, M. S. G. M.; STRIXINO, S. T. Organismos Bentônico: biomonitoramento de qualidade de água. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente, 2008.
- SILVA, A. J. R. Sensoriamento remoto como subsídio para a gestão agrícola: estudo de caso do Projeto de Irrigação Rio Formoso - Formoso do Araguaia-TO. (2015). 96f.
- SILVA, D. B. Qualidade de Água e Sedimento em Reservatório (2016) Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.
- STUMM, W; MORGAN, J. J. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1996.
- TAYLOR, Malcolm; ELLIOTT, Herschel A.; NAVITSKY, Laura O. Relationship between total dissolved solids and electrical conductivity in Marcellus hydraulic fracturing fluids. *Water Science & Technology*, v. 77, n. 8, p. 1998-2004, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.092>. Acesso em: 3 set. 2024.
- USEPA- (Environmental Protection Agency) - METHOD 8081B Organochlorine pesticides by gas chromatography Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-2/documents/8081b.pdf> Acesso em: 04 jun 2021.
- WHO. (2017). *Water quality and health: Review of turbidity*. World Health Organization. Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/turbidity](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/turbidity).

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

## Capítulo 8

# TOLERÂNCIA À AGITAÇÃO MECÂNICA DO FUNGO *M. anisopliae* NA PRODUÇÃO DE LIPASES POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO

Lucas Cunha Borges<sup>1</sup>  
Lina María Grajales Agudelo<sup>2</sup>

## RESUMO

As lipases são enzimas de interesse industrial utilizadas em vários processos biotecnológicos. Elas podem ser produzidas por fermentação em estado sólido (FES) utilizando resíduos agrícolas como substratos. O grande desafio deste sistema está no projeto e construção de um biorreator que permita simular as condições de crescimento natural do microrganismo. O presente projeto dá suporte ao desenvolvimento de um biorreator de tambor rotativo para FES. Assim, o objetivo foi analisar a tolerância a agitação mecânica do *M. anisopliae* durante a produção de lipases por FES utilizando o bagaço de coco babaçu como substrato. O projeto foi executado em duas etapas. A primeira etapa consistiu no projeto e montagem de um protótipo de biorreator rotativo construído em vidro. A segunda etapa consistiu na caracterização do substrato e a fermentação no biorreator construído. Os resultados indicaram que o *M. anisopliae* é tolerante a agitações mecânicas de baixa frequência, sugerindo que o biorreator de tambor rotativo construído pode ser uma alternativa viável para a produção de lipases. O sistema avaliado é o primeiro passo para o aumento de escala em biorreatores de tambor rotativo.

**Palavras-chave:** Biorreator rotativo; Resíduos agroindustriais; Bagaço do coco babaçu; Agroenergia.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Alimentos, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, cunha.borges@mail.uft.edu.br.

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, Professor Engenharia de Alimentos e PPG em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins, grajales@mail.uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

Os fungos são microrganismos presentes no ecossistema e tem papel ecológico de grande importância, são decompositores primários, responsáveis por reciclagem, grandes agentes biológicos de controle e patógenos (ABREU; ROVIDA; PAMPHILE, 2015). Os metabólitos secundários produzidos por estes microrganismos desempenham um papel importante não só na vida do fungo, mas a sua função na economia humana também é inquestionável (LAJTAI-SZABÓ, et al., 2022), na produção de medicamentos, inseticidas, alimentos e na degradação natural de resíduos ambientais (TAKAHASHI, et al., 2017).

Dentre os fungos, destacam-se os entomopatogênicos, que são capazes de infectar insetos e outros artrópodes terrestres, como ácaros, carapatos e aranhas (BAVA et al., 2022), causando infecções através de suas toxinas, muitas vezes letais para os hospedeiros (VALICENTE, 2009). Esses fungos já são amplamente comercializados como biopesticidas (FERREIRA; SOARES, 2023), sendo o *Metarhizium anisopliae* um dos mais conhecidos e usados em programas de controle biológico, junto a outras espécies descritas (SCHRANK; VAINSTEIN, 2010). Além de seu uso no biocontrole, o *Metarhizium anisopliae* tem sido destacado como um excelente produtor de proteases, quitinases e lipases (FERREIRA; SOARES, 2023; DE SANTANA et al., 2015; ALI et al., 2009).

As lipases, classificadas como hidrolases, atuam na quebra de ligações éster de vários compostos (EIRO et al., 2011) e são biocatalisadores amplamente utilizados em diversos processos bioquímicos na indústria. Essas enzimas estão presentes em animais, plantas e microrganismos (SARMAH et al., 2018), sendo as lipases de origem microbiana as mais utilizadas em aplicações biotecnológicas (BORA; GOHAIN; DAS, 2013).

Uma desvantagem importante nas aplicações industriais de enzimas é o elevado custo de produção e purificação (SOSA-MARTÍNEZ et al., 2023). A fermentação em estado sólido (FES) surge como uma tecnologia promissora para a produção de enzimas (OLIVEIRA; PINOTTI,

2015), permitindo o crescimento de microrganismos em condições com pouco ou nenhum teor de água livre, o que simula o ambiente natural da maioria dos microrganismos, especialmente fungos (CHILAKAMARRY et al., 2022). O substrato utilizado pode ser um resíduo agrícola, funcionando como uma matéria-prima de baixo custo, além de evitar o descarte como poluente (OLIVEIRA; PINOTTI, 2015).

A possibilidade de utilização de resíduos sólidos da agroindústria como substratos chama significativa atenção tanto das comunidades de pesquisa quanto da indústria (DALLASTRA et al., 2023). Esses resíduos contêm variabilidade na composição como grande quantidade de proteínas, açúcares e minerais (SADH; DUHAN; DUHAN, 2018). A agroindústria do Tocantins gera uma grande quantidade de resíduos orgânicos, a partir do processamento de alguns produtos como o coco babaçu, arroz, milho e soja.

De forma geral, a FES possui duas classes de biorreatores: leito fixo e leito móvel. Os biorreatores de leito fixo são mais baratos, simples de construir e operar. Os de leito móvel são mais complexos, porém, dão maior flexibilidade na remoção do calor gerado no crescimento do microrganismo (DINIZ DA SILVA et al., 2022; ARORA; RANI; GHOSH, 2018; GRAJALES et al.,

2012). A mistura melhora o transporte convectivo, uma vez que aumenta a área superficial do substrato exposta ao ar úmido e/ou fluido de resfriamento (ARORA; RANI; GHOSH, 2018). O biorreator de tambor rotativo tem grandes chances de substituir a fermentação estacionária na maioria das indústrias; no entanto, as forças de cisalhamento são muito destrutivas e os danos causados nos fungos filamentosos não devem ser subestimados (MAHMOODI; NAJAFPOUR; MOHAMMADI, 2019). O mais recente projeto do grupo de pesquisa em Engenharia de biorreatores (GEBio) da UFT é o “Desenvolvimento de um biorreator de tambor rotativo para produção de lipases por FES”. Para a execução deste projeto, é essencial fornecer suporte em diversas fases. Uma etapa fundamental é avaliar, em escala de laboratório, se as

condições de cisalhamento e rotação do biorreator conseguem preservar a integridade e a uniformidade do microrganismo, assim como sua produção em leito estático.

Por estes motivos, o presente projeto dá suporte ao desenvolvimento do biorreator de tambor rotativo ao ter como objetivo geral analisar a tolerância à agitação mecânica do fungo *M. anisopliae* na produção de lipases por fermentação em estado sólido em um tambor rotativo a partir do uso do bagaço da amêndoa do coco babaçu como substratos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Operações Unitárias e Segurança Alimentar, localizado na Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas.

### BIORREATOR DE TAMBOR ROTATIVO

O biorreator protótipo utilizado neste experimento foi construído conforme mostrado na Figura 1, usando um frasco de vidro (25 cm de altura, 15 cm de comprimento e 60 cm de diâmetro) com tampa de metal. Na tampa, foram feitas duas perfurações: uma para permitir o fluxo de ar úmido através do leito, e outra para saída de gases, onde foram inseridos tampões de algodão envoltos em gazes. O sistema de aeração inclui um compressor de aquário, rotâmetro e filtragem do ar com membrana de PTFE de 0,45 µm. A vazão do ar foi mantida em 4,5 L/min.

Figura 1: Biorreator protótipo de vidro.



Fonte: Autor, 2024.

### MICRORGANISMO E OBTENÇÃO DO INÓCULO

*Metarhizium anisopliae* IBCB 425 representado na Figura 2, foi gentilmente doado pelo Instituto Biológico de São Paulo, Brasil. As culturas de estoque foram preservadas em placas e tubos de ensaio com meio de Batata-Dextrose-Ágar (BDA), cobertos por óleo mineral estéril e armazenados a 4 °C, sendo repicados periodicamente.

Figura 2: Fungo *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 cultivado em placa de Petri em meio Batata- Dextrose-Ágar (BDA).



Fonte: Autor, 2024.

Para obtenção do inóculo, os esporos foram transferidos para frascos Erlenmeyer de 250 ml contendo 50 ml de meio BDA inclinado, que foram incubados em uma incubadora tipo B.D.O (modelo SP-500 Splabor de 364 L) a 28 °C por 7 dias (DA CUNHA et al., 2020). Para a

suspensão de conídios, em câmara de fluxo laminar, adicionou-se aos frascos contendo o fungo uma solução nutritiva (100 mL de água destilada, 0,065 g de cloreto de potássio, 0,033 g de extrato de levedura e 100  $\mu$ L de Tween 80), previamente esterilizada em autoclave por 20 minutos a 121 °C e 1,0 atm. Em seguida, a contagem de conídios em suspensão foi realizada utilizando uma câmara de Neubauer e um microscópio binocular, tendo seu valor padronizado em  $2 \times 10^7$  conídios/mL em todos os experimentos (DALLASTRA et al., 2023).

#### MEIO DE CULTIVO

Para a fermentação, foi utilizado como substrato e suporte físico o bagaço da amêndoa de babaçu (resíduo da extração de óleo do coco babaçu). Esse material foi adquirido em cooperativas da região. Antes de ser utilizado, foi armazenado em freezer e posteriormente, descongelado à temperatura ambiente para seu uso. O bagaço da amêndoa de babaçu (fotografia na Figura 3) foi seco em estufa convectiva a 60 °C até peso constante, seguido de peneiramento em peneiras de abertura de 1 e 4 mm e o material contido entre as peneiras foi usado nos experimentos.

Figura 3: Bagaço da amêndoa de babaçu, resíduo gerado a partir da prensa da amêndoa para extração do óleo.



Fonte: Autor, 2024.

Caracterização do bagaço da amêndoa do babaçu

Densidade aparente

Em provetas graduadas de 50 mL, 5g de cada amostra secas foram agitados verticalmente até não ocorrer alteração nos volumes. A densidade aparente é determinada dividindo-se a massa da amostra pelo seu volume total e expressas em g/cm<sup>3</sup> (OHARA et al., 2015).

#### Capacidade de absorção de água

Para avaliar a capacidade de absorção de água, 1 g de amostra foi misturado com 10 mL de água destilada em um tubo de centrífuga de 15 mL, centrifugado a 2263 x g por 30 minutos, e depois seco verticalmente em estufas a 50 °C por 20 minutos. A capacidade de absorção de água foi calculada como o aumento percentual no peso amostral e o ensaio foi feito em triplicata (DINIZ et al., 1997).

#### Composição química do bagaço da amêndoaa do babaçu

Os teores de umidade, proteínas, gordura bruta (lipídios), cinzas e tamanho de partículas foram determinados pelos seguintes métodos: teor de proteína pelo método de Kjeldahl; extração de lipídios e quantificação de ácidos graxos por extração com solvente orgânico; teor de umidade pelo método de secagem em estufa a 105°C; e cinzas por incineração em forno a 550 °C (AOAC, 1997).

### FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO (FES)

#### Cultivo controle

Após os respectivos tratamentos, o controle foi preparado conforme ilustrado na Figura 4, adicionando 10 g bagaço da amêndoaa de babaçu em sacos plásticos de polipropileno (15 cm x 25 cm). Na parte superior fixou-se um tubo de PVC (5 cm), nos quais foram inseridos tampões de algodão envoltos em gaze para permitir as trocas gasosas e evitar contaminação exógena, em seguida autoclavados a 121 °C por 20 minutos. Após o resfriamento, dentro de uma cabine de fluxo laminar, acrescentou 1 mL da suspensão de esporos, seguida por uma intensa

mistura manual (DA CUNHA et al., 2020). Os sacos plásticos foram incubados em BOD, a temperatura de 28 °C por 7 dias, para fermentação (SANTOS, 2017).

Figura 4: Fermentação em estado sólido do fungo *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 em embalagem plástica utilizando bagaço da amêndoa do babaçu como substrato.



Fonte: Autor, 2024.

#### Cultivo em biorreator

Após o ajuste de umidade, o bagaço da amêndoa de babaçu em quantidade (705,6 g) adequada para alcançar 40 % de enchimento a ser testado e o protótipo de vidro mostrado na Figura 5, foram esterilizados dentro de sacos de polipropileno em autoclave a 121 °C por 20 minutos. Após a autoclavagem em câmara de fluxo laminar, realizou-se a inoculação com a suspensão de esporos preparada conforme descrição no item 2.2. O conteúdo foi homogeneizado manualmente até que o líquido fosse absorvido. Em seguida, o meio inoculado foi colocado dentro do biorreator e cultivado dentro de uma B.O.D a 28 °C por 7 dias e fluxo de ar a 4,5L/min. Ao final da fermentação amostras foram coletadas em diferentes regiões do biorreator. As rotações foram realizadas a cada 12 e 24 horas e o número de rotações foi fixado em 12 (GRAJALES et al., 2012).

Figura 5: Fermentação em estado sólido do fungo *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 em biorreator protótipo de vidro utilizando bagaço da amêndoa do babaçu como substrato.



Fonte: Autor, 2024.

### Extração da enzima e determinação da atividade enzimática

Após a incubação, a solução extratora (20 mL de tampão McIlvaine pH 7,0 e 0,25% de tensoativo Tween 80) foi adicionada ao substrato fermentado, seguido de agitação manual utilizando um bastão de vidro e filtração utilizando tecido TNT para obter o extrato enzimático bruto, que foi coletado e congelado.

Posteriormente, a atividade enzimática foi determinada seguindo o método de Freire et al., (1997), com modificações. Em frascos de Erlenmeyer de 125 mL, foram adicionados 19 mL de emulsão (contendo 1% de triton X-100 e 5% de óleo de oliva) em tampão McIlvaine pH 7,0. A emulsão foi homogeneizada em um shaker por 3 minutos a 37°C e 200 rpm, e em seguida, foi adicionado 1 mL do extrato enzimático bruto, que foi incubado por 30 minutos a 28°C e 200 rpm.

### DADOS E DISCUSSÃO

#### Caracterização do bagaço da amêndoa do coco babaçu utilizando

O tamanho das partículas do substrato é um fator crucial na produção de enzimas por FES, pois está diretamente ligado à porosidade do substrato sólido, sendo analisado pela densidade aparente e granulometria do substrato (DE CASTRO; SATO, 2015). Além disso, o tamanho ideal das partículas frequentemente representa um equilíbrio entre a acessibilidade aos nutrientes e a disponibilidade de oxigênio (RUIZ et al., 2012). Em seu estudo Dallastra et al. (2023), foram

utilizadas partículas de bagaço de coco babaçu entre 0,3 mm e 1,7 mm, resultando em maior atividade enzimática de lipase em comparação com outros autores (COLLA et al., 2016; WU et al., 2020; DUTRA et al., 2022). Por isso, decidiu-se utilizar os substratos retidos em peneiras > 1 mm e < 4 mm.

O bagaço de coco babaçu apresentou densidade aparente de 0,588 g/cm<sup>3</sup>. Substratos com baixa densidade aparente são preferíveis para FES, pois a baixa densidade favorece maior porosidade e facilita a difusão de ar, mesmo em condições de umidade (OHARA et al., 2015).

O teor de umidade em meios porosos está fortemente ligado à temperatura de cultivo, que varia ao longo do processo devido ao calor gerado metabolicamente. Assim, a capacidade de absorção de água influencia diretamente o fluxo de ar e a remoção de calor durante a FES (VAURIS et al., 2022). Além disso, níveis elevados de umidade promovem a aglomeração de partículas, restringem a transmissão de gases e aumentam a competição microbiana. Por essa razão, os níveis de umidade no processo de FES variam de 30% a 85% (CHILAKAMARRY et al., 2022). Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos para a absorção de água nos experimentos.

Tabela 1 – Capacidade de absorção de água.

SUBSTRATO	SUBSTRATO SECO	SUBSTRATO ÚMIDO	AUMENTO PERCENTUAL
BAGAÇO DE COCO BABAÇU	1.0066 g ± 0,003	3,6617 g ± 0,033	363,747 ± 2,625

Os valores são dados como média ± desvio padrão.

Fonte: Autor, 2024

#### Fermentação no biorreator protótipo de tambor rotativo

A seleção do substrato adequado é essencial na FES, uma vez que diferentes resíduos influenciam diretamente no rendimento e na atividade enzimática ao longo do processo fermentativo (DE CASTRO; SATO, 2015). Diversos substratos provenientes da agroindústria, como

bagaço de cana- de-açúcar, torta de cupuaçu e polpa de girassol, têm se mostrado eficazes para a produção de lipases, aproveitando suas propriedades bioquímicas para melhorar o crescimento microbiano e o rendimento enzimático (YADAV et al., 2024; CARVALHO et al., 2023; PALUZAR; TUNCAY; AYDOGDU, 2021). Suyanto et al. (2019) investigaram a produção de lipases por *Aspergillus niger* utilizando resíduos de polpa de coco em FES. Após identificar a condição ideal para a produção de lipases, considerando parâmetros como a concentração inicial de esporos e o volume da solução de extrato, os pesquisadores obtiveram 72,5 mL de enzima bruta com atividade de lipase de 10,83 U.mL<sup>-1</sup> e teor proteico de 0,074 mg/mL<sup>-1</sup>. Isso evidencia que resíduos agroindustriais, ricos em nutrientes como carboidratos, proteínas e lipídios, são adequados para FES, pois fornecem elementos essenciais ao metabolismo microbiano (ROJAS; ZAPATA; RUIZ-TIRADO, 2022; DE MENEZES et al., 2022). Portanto, a caracterização química dos substratos a serem utilizados é fundamental, pois revela a composição dos resíduos em relação aos nutrientes necessários para o desenvolvimento microbiano e a síntese enzimática. A Tabela 2 apresenta os valores em percentual e o desvio padrão obtidos da composição química do bagaço da amêndoaa do coco babaçu utilizado neste estudo. Os resultados sugerem que o bagaço da amêndoaa do coco babaçu pode promover a produção de lipases, uma vez que a presença de lipídios e proteínas no meio de cultivo favorece sua indução (DALLASTRA et al., 2023).

Tabela 2 - Composição química do bagaço da amêndoaa do babaçu (por 100 g do substrato).

SUBSTRATO	UMIDADE	LÍPIDOS	PROTEÍNAS	CINZAS
BAGAÇO DA AMÊNDOA DO BABAÇU	2,05 ± 0,070	19,3 ± 0,466	18,3 ± 0,579	3,93 ± 0,056

Os valores são dados como média  $\pm$  desvio padrão.

Fonte: Autor, 2024

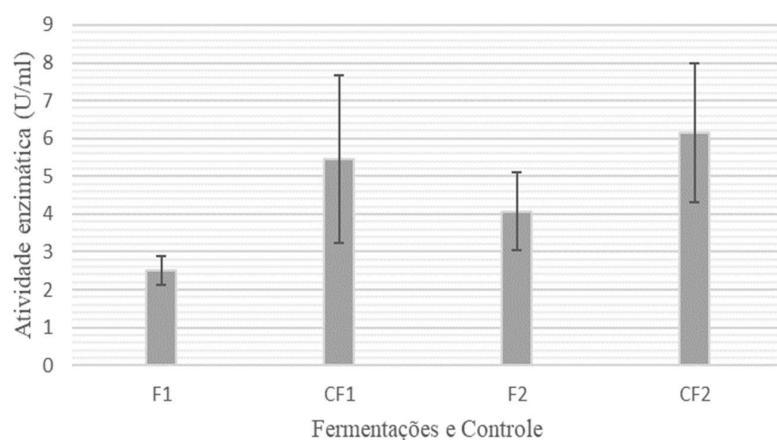
Durante as fermentações o crescimento microbiano foi visualmente observado apenas na superfície do substrato, sendo mais acentuado na fermentação com agitação a cada 12 horas, conforme ilustrado na Figura 6. No segundo dia das fermentações, foi possível notar a compactação e o ressecamento do meio, o que pode ter ocasionado uma distribuição irregular da umidade, dificultando o acesso aos nutrientes no interior dos substratos. Isso pode ter resultado nos valores diferentes de atividade enzimática em cada região do biorreator, com valores abaixo do ideal, quando comparados aos encontrados no controle, conforme mostrado na Figura 7. De acordo com Finkler et al. (2017), a agitação esporádica ao longo do dia permite que o micélio se ligue às partículas, formando aglomerados, como demonstrado na Figura 6. Dallastra et al. (2023) observaram que a distribuição das partículas no biorreator de bandejas influenciou na produção da enzima, já que foram identificadas variações na atividade enzimática dependendo da localização da amostra coletada. Da mesma forma, EICHLER et al. (2020), ao avaliarem a produção de lipases por FES utilizando um biorreator de tambor rotativo, encontraram atividades enzimáticas de  $6,37 \pm 0,02$   $\text{Ug}^{-1}$ , inferiores às obtidas em outras configurações de biorreatores, concluindo que esses valores podem estar relacionados à ruptura do fungo durante a agitação. Em contraste, Dabaghi et al. (2021) observaram que o aumento no tempo de rotação melhorou a produção de biossurfactantes, devido ao maior fornecimento de oxigênio e nutrientes para *Pseudomonas aeruginosa* e à redução dos problemas de superaquecimento.

Figura 6 - Crescimento do fungo *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 em um biorreator protótipo de tambor rotativo.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 7 - Valores de atividade enzimática durante a fermentação com a cada 24 h.



$F^*$  = Fermentação no biorreator, CF = Controle. Os valores são dados como média  $\pm$  desvio padrão (três repetições). Fonte: Autor, 2024.

Considerando que a eficácia da FES depende de diversos fatores, como o tipo de substrato, as características dos microrganismos envolvidos e as condições operacionais específicas do sistema de fermentação (SANTIAGO et al., 2014; WEBB, 2017) e que alguns autores têm encontrados valores satisfatórios em suas pesquisas quando utilizaram biorreatores de tambores rotativos (TEERIN et al., 2023), é evidente que diante dos valores encontrados neste estudo, serão necessários estudos estatísticos de repetição que possam garantir as melhores condições de fermentação para o *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 em um biorreator de tambor rotativo.

Adicionalmente, sugere-se que para trabalhos futuros o sistema de rotação do tambor seja mecanizado, de forma a padronizar a

frequência de rotação. Sugere-se também, aprimorar o sistema de umidificação do ar de entrada ao reator de forma a evitar a secagem do meio fermentativo. Experimentos adicionais de variação da carga do tambor e, configuração interna do biorreator com adição de defletores ou chicanas também deverão ser realizados. Apesar do anterior, é possível afirmar que o biorreator de tambor rotativo construído pode ser uma alternativa viável para a produção de lipases do *Metarhizium anisopliae* IBCB 425, já que o fungo se mostrou tolerante a agitações mecânicas de baixas frequências. Sendo este sistema avaliado o primeiro passo para o aumento de escala em biorreatores de tambor rotativo.

Após a incubação, a reação foi interrompida com a adição de 20 mL de uma solução de acetona e álcool etílico na proporção 1:1 (v/v). Os ácidos graxos liberados foram titulados com uma solução de NaOH 0,1 M até atingir pH final 11. A atividade enzimática (U/mL) foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$\text{Atividade enzimática (AE)} = \frac{(V_{tf} - V_{ti}) \times 1000 \times F_d \times M}{t} \quad (1)$$

Onde: V<sub>tf</sub>: Volume de NaOH após 30 min de reação em mL;

V<sub>ti</sub>: Volume de NaOH usado para titular o branco em mL;

M: Concentração de NaOH;

t: Tempo total de reação (30 min); F<sub>d</sub>: Fator de diluição

Uma unidade de atividade lipolítica é definida como a quantidade de enzima que libera 1  $\mu$ mol de ácido graxo por minuto, nas condições descritas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível afirmar que o *Metarhizium anisopliae* IBCB 425 é

tolerante a agitações mecânicas de baixas frequências usando um biorreator de tambor rotativo utilizando bagaço da amêndoia do coco babaçu como substrato. Porém, experimentos adicionais devem ser realizados onde o sistema de rotação do tambor seja mecanizado, de forma a padronizar a frequência de rotação.

## REFERÊNCIAS

- ALI, S; HUANG ZHEN. H.Z; REN SHUNXIANG, R.S; GASHIR, M.H; AFZAL, M; TONG LONG, T.L. Production and extraction of extracellular lipase from entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* (Clavicipitaceae: Hypocreales). *Pakistan Journal of Zoology*, v. 41, n. 5, 2009.
- ARORA, S.; RANI, R.; GHOSH, S. Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*, v. 269, p. 16-34, 2018.
- BAVA, R; CASTAGNA, F; PIRAS, C; MUSOLINO, V; LUPIA, C; PALMA, E; MUSELLA, V. Entomopathogenic fungi for pests and predators control in beekeeping. *Veterinary sciences*, v. 9, n. 2, p. 95, 2022.
- BORA, L.; GOHAIN, D.; DAS, R. Recent advances in production and biotechnological applications of thermostable and alkaline bacterial lipases. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2013.
- CARVALHO, A. S. S.; ROCHA, R. D. C. P. E.; SALES, J. C.S.; SOUZA, C. E. C. D.; LEMES, A. C.; COELHO, M. A. Z. Biotechnological Valorization of Cupuaçu By-Products: Solid-State Fermentation for Lipase Production by *Yarrowia lipolytica*. *Fermentation*, v. 9, n. 11, 2023.
- CHILAKAMARRY, C. R.; SAKINAH, A.M.; SIROHI, R.; KHILJI, I.A; AHMAD, N; PANDEY, A. Advances in solid-state fermentation for bioconversion of agricultural wastes to value-added products: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, 2022.
- COLLA, L. M.; PRIMA, A. L.; BENEDETTI, S.; LOSS, R. A.; LIMA, M. D; REINEHR, C. O; COSTA, J. A. V. Surface response methodology for the optimization of lipase production under submerged fermentation by filamentous fungi. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 47, n. 2, p. 461-467, abr. 2016.
- DALLASTRA, E. D. G.; DIAS, A. C. P.; DE MORAIS, P. B.; DA SILVA, J. F. M.; CASCIATORI, F.P.; GRAJALES, L. M. Development of a novel pilot-scale tray bioreactor for solid-state fermentation aiming at process intensification. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 193, p. 109526, 1 nov. 2023.
- DE CASTRO, R. J. S.; SATO, H. H. Enzyme production by solid state fermentation: general aspects and an analysis of the physicochemical characteristics of substrates for agro-industrial wastes valorization. *Waste and biomass valorization*, v. 6, p. 1085-1093, 2015.
- DE MENEZES, L. H. S.; RAMOS, M. R. M . F; ARAUJO, S. C.; SANTOS, E. L. D. E.; OLIVEIRA, P. C.; TAVARES, I. M. D. C.; OLIVEIRA, J. R. Application of a

constrained mixture design for lipase production by *Penicillium roqueforti* ATCC 10110 under solid-state fermentation and using agro-industrial wastes as substrate. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, v. 52, n. 8, p. 885- 893, 2022.

DE SANTANA, S. C.; DA SILVA FILHO, R. C.; DE OLIVEIRA, J. A.; DE MACEDO, G. R.; PADINLHA, F. F.; DOS SANTOS, E. S. Enhancing purification of chitosanase from *Metarhizium anisopliae* by expanded bed adsorption chromatography using Doehlert design. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 4, n. 4, 2015.

DINIZ DA SILVA, M. P.; DUTRA, R.S; CASCIATORI, F. P.; GRAJALES, L.M. A two-phase model for simulation of water transfer during lipase production by solid-state cultivation in a tray bioreactor using babassu residues as substrate. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 177, 2022.

DINIZ, F. M.; MARTIN, A. M. Effects of the extent of enzymatic hydrolysis on functional properties of shark protein hydrolysate. *LWT*, v. 30, n. 3, 1997.

DUTRA, L. S.; PINTO, M. C. C.; CIPOLATTI, E. P.; AGUIEIRAS, E. C. G.; MANOEL, E. A.; GRECO-DUARTE, J.; PINTO, J. C. How the biodiesel from immobilized enzymes production is going on: An advanced bibliometric evaluation of global research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 153, p. 111765, 2022.

FERREIRA, J. M.; SOARES, F. E. DE F. Entomopathogenic fungi hydrolytic enzymes: A new approach to biocontrol? *Journal of Natural Pesticide Research*, v. 3, 2023.

GRAJALES, L. M; XAVIER, N. M; HENRIQUE, J. P; THOME, J. C. Mixing and motion of rice particles in a rotating drum. *Powder Technology*, v. 222, 2012.

LAJTAI-SZABÓ, P.; HULBER-BEYER, É; NEMESTÓTHY, N.; BÉLAFIBAKÓ, K. The role of physical support in secondary metabolite production by *Streptomyces* species. *Biochemical Engineering Journal*, v. 185, p. 108495, 2022.

MAHMOODI, M.; NAJAFPOUR, G. D.; MOHAMMADI, M. Bioconversion of agroindustrial wastes to pectinases enzyme via solid state fermentation in trays and rotating drum bioreactors. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 21, 2019.

OHARA, A.; DE CASTRO, R. J. S.; NISSHIDE, T. G; DIAS, F. F. G.; BAGAGLI, M. P.; SATO, H. H. Invertase production by *Aspergillus niger* under solid state fermentation: Focus on physical- chemical parameters, synergistic and antagonistic effects using agro-industrial wastes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 4, n. 4, 2015.

OLIVEIRA, M. M.; PINOTTI, L. M. Produção de lipases por *rhizomucor* sp. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 3, p. 1368-1373, 2015.

OLUKOMAIYA, O. O; ADIAMO, O. Q; FERNANDO, W. C; MEREDDY, R; LI, X; SULTANBAWA, Y. Effect of solid-state fermentation on proximate composition, anti-nutritional factor, microbiological and functional properties of lupin flour. *Food Chemistry*, v. 315, 2020.

PALUZAR, H.; TUNCAY, D.; AYDOGDU, H. Production and characterization of lipase from *Penicillium aurantiogriseum* under solid-state

- fermentation using sunflower pulp. *Biocatalysis and Biotransformation*, v. 39, n. 4, 2021.
- RIBEIRO, B. D.; CASTRO, A. M. D.; COELHO, M. A. Z.; FREIRE, D. M. G Production and use of lipases in bioenergy: a review from the feedstocks to biodiesel production. *Enzyme research*, v. 2011, n. 1, p. 615803, 2011.
- ROJAS, L. F.; ZAPATA, P.; RUIZ-TIRADO, L. Agro-industrial waste enzymes: Perspectives in circular economy. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 34, p. 100585, 2022.
- RUIZ, H. A.; RODRÍGUEZ-JASSO, R. M.; RODRÍGUEZ, R.; CONTRERAS-ESQUIVEL, J. C.; AGUILAR, C. N. Pectinase production from lemon peel pomace as support and carbon source in solid-state fermentation column-tray bioreactor. *Biochemical Engineering Journal*, v. 65, 2012.
- SAH, P. K.; DUHAN, S.; DUHAN, J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and bioprocessing*, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2018.
- SARMAH, N.; REVATHI, D.; SHEELU, G.; YAMUNA RANU, K.; SRIDHAR, S.; MEHTAB, V.; SUMANA, C. Recent advances on sources and industrial applications of lipases. *Biotechnology Progress*, 2018.
- SCHRANK, A.; VAINSTEIN, M. H. *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. *Toxicon*, v. 56, n. 7, p. 1267-1274, dez. 2010.
- VALICENTE, F. H. Controle biológico de pragas com entomopatógenos. *Informe Agropecuario*, v. 30, 2009.
- VAURIS, A.; VALCAUDA, S.; HUSSON, F.; DE CONINCK, J. A novel method to assess heat transfer and impact of relevant physicochemical parameters for the scaling up of solid state fermentation systems. *Biotechnology Reports*, v. 36, 2022.
- YADAV, P.; ANU, K. T. S.; KUMAR, V.; SINGH, D.; KUMAR, S.; SINGH, B. Sugarcane bagasse: An important lignocellulosic substrate for production of enzymes and biofuels. *Biomass Conversion and Biorefinery*, v. 14, n. 5, p. 6111-6142, 2024.
- ABREU, J. A. S.; ROVIDA, A. F. S.; PAMPHILE, J. A. Fungos De Interesse: Aplicações Biotecnológicas. *Revista UNINGÁ Review*, v. 21, n. 1, 2015.
- CHILAKAMARRY, C. R.; SAKINAH, A. M.; ZULARISAN, A. W.; SIROHI, R.; KHOLJII, I. A.; AHMAD, N.; PANDEY, A. Advances in solid-state fermentation for bioconversion of agricultural wastes to value-added products: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, v. 343, p. 126065, jan. 2022.
- CUNNIFF, P.; WASHINGTON, D. Official methods of analysis of AOAC International. *J. AOAC Int*, v. 80, n. 6, p. 127A, 1997.
- DA CUNHA, L. P.; CASCIATORI, F. P.; VICENTE, I. V.; GARCIA, R. L.; THOMÉO, J. C. *Metarhizium anisopliae* conidia production in packed-bed bioreactor using rice as substrate in successive cultivations. *Process Biochemistry*, v. 97, p. 104-111, 1 out. 2020.
- DABAGHI, S.; ATAEI, S. A.; TAHERI, A. Performance analysis of a laboratory scale rotating drum bioreactor for production of rhamnolipid in

solid-state fermentation using an agro-industrial residue. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1 dez. 2021.

EICHLER, P; BASTIANI, D. C.; SANTOS, F. A.; AYUB, M. A. Lipase production by *Aspergillus brasiliensis* in solid-state cultivation of malt bagasse in different bioreactors configurations. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 92, n. suppl 2, 1 jan. 2020.

FINKLER, A. T. J.; BIZ, A.; PITOL, L. O.; MEDINA, B. S.; LUITHARDF, H.; LIMA, L.; MITCHELL, D. A. Intermittent agitation contributes to uniformity across the bed during pectinase production by *Aspergillus niger* grown in solid-state fermentation in a pilot-scale packed-bed bioreactor. *Biochemical Engineering Journal*, v. 121, p. 1-12, maio 2017.

SANTIAGO, A. M.; CONRADO, L. S.; MELIO, B. C. A.; SOUSA, C. A. B., OLIVEIRA, P. L.; LIMA, F. C. S. Solid State Fermentation: Fundamentals and Application. *Advanced structured materials*, p. 117-139, 1 jan. 2014.

SANTOS, P. S. Adaptações no sistema de produção do fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* (Metch.) Sorokin (Ascomycota: Hypocreales). 2017. Tese (Doutorado em ciências. Área de concentração: Entomologia) - Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

SOSA-MARTÍNEZ, J. D. et al. Agroindustrial and food processing residues valorization for solid- state fermentation processes: A case for optimizing the co-production of hydrolytic enzymes. *Journal of Environmental Management*, v. 347, p. 119067, 1 dez. 2023.

TAKAHASHI, J. A; DA SILVA, L. G; DOS SANTOS, G. F; LYRA, F. H; DA SILVA-HUGHES, A. F; GONÇALVES, F. A. Fungos Filamentosos e Química: Velhos Conhecidos, Novos Aliados. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 6, 2017.

TEERIN, C.; NATTHON, P.; NAVADOL, L. High Production of Cellulase and Xylanase in Solid-State Fermentation by *Trichoderma reesei* Using Spent Copra and Wheat Bran in Rotary Bioreactor. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 62, n. 7, p. 3087-3097, 7 fev. 2023.

WEBB, C. Design Aspects of Solid State Fermentation as Applied to Microbial Bioprocessing. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, v. 4, n. 1, 17 out. 2017.

WU, F.; MA, J.; CHA, Y.; LU, D.; LI, Z.; ZHUO, M.; ZHU, M. Using inexpensive substrate to achieve high-level lipase A secretion by *Bacillus subtilis* through signal peptide and promoter screening. *Process Biochemistry*, v. 99, p. 202-210, 2020.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

## Capítulo 9

# MONITORAMENTO DE GLIFOSATO E QUALIDADE DA ÁGUA NO RIBEIRÃO TAQUARUÇÚ GRANDE E AFLUENTES E OS IMPACTOS NA BIODIVERSIDADE AMBIENTAL

Júlia Neves Mantovani<sup>1</sup>  
Moisés Laurence de Freitas Lima Junior<sup>2</sup>  
Emerson Adriano Guarda<sup>3</sup>  
Patrícia Martins Guarda<sup>4</sup>

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi monitorar a parâmetros de qualidade da água além do ingrediente ativo glifosato que ocupa o topo do ranking de comercialização no país, do Ribeirão Taquaruçu Grande, principal fonte de abastecimento da cidade de Palmas-TO, foram selecionados 7 pontos ao longo do corpo d'água para serem analisados. As 2 coletas das amostras ocorreram uma no período seco do ano e uma no período chuvoso na região. Foram feitas análises de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos, anályses de metais e análise de glifosato. Com os resultados obtidos realizou-se a análise de componentes principais, observando-se correlação entre parâmetros. Observou-se que altos níveis de Nitrato e Sulfato podem indicar escoamento agrícola, e altos níveis de *E. coli* e Turbidez podem apontar para contaminação de esgoto. Com foco em estratégias de monitoramento pode-se concluir que a correlação de parâmetros é eficiente para detectar fontes de contaminação de forma bem direta.

Palavras-chave: contaminantes ambientais; indicadores de qualidade de água; agrotóxico.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental, Pibic/FAPT, Universidade Federal do Tocantins, julia.mantovani@mail.ufc.br.

<sup>2</sup> Moisés Laurence de Freitas Lima, Doutorando no programa BIONORTE, Universidade Federal do Tocantins, moises.junior@ifto.edu.br.

<sup>3</sup> Emerson Adriano Guarda, Doutor em Química pela Universidade Federal de Santa Maria, Professor Associado da Universidade Federal do Tocantins no Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, emersonprof@uft.edu.br.

<sup>4</sup> Patrícia Martins Guarda, Doutora em BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA DA REDE BIONORT, Professor Adjunta da Universidade Federal do Tocantins no Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, patriciaguarda@uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

O Monitoramento da qualidade de água é de fundamental importância para a gestão de um corpo hídrico, e uma água segura e de qualidade, é imprescindível para todos os seres vivos (DUSABE et al., 2019; PINTO et al., 2019). A qualidade da água pode ser entendida como consequência dos processos atuantes em uma bacia hidrográfica, sendo a ação antrópica reguladora do equilíbrio entre sistemas (BUCCI, 2015). Detectar o resultado destes impactos é de fundamental importância para avaliar a sustentabilidade dos recursos naturais utilizados pelo homem.

A desestruturação do ambiente físico e químico, e alteração da dinâmica natural das comunidades biológicas, podem trazer como consequência, a queda da qualidade da água e perda de biodiversidade aquática (GOULART & CALLISTO, 2003).

Segundo Arais et al., (2007) um corpo hídrico é composto por uma enorme variedade de ambientes e estes podem ser afetados em função de seus diferentes usos (ex. pesca, irrigação, abastecimento de água potável e recreação), diante disso, a proteção ambiental se faz extremamente necessária para que esses ecossistemas sejam protegidos.

Esses diferentes usos, para os mais diferentes tipos de atividades, afetam a qualidade hídrica dos corpos d'água e essa degradação vem ocorrendo de forma cada vez mais rápida e constante, interferindo na quantidade da água disponível nesses ambientes, assim como na sua qualidade. A introdução nestes meios, de substâncias estranhas, acarreta um perigo para toda a diversidade biológica existente nesses ambientes aquático (ARAIAS et al., 2007; QUEIROZ et al., 2008; SILVA, 2016, SOUZA et al., 2016).

Essa degradação vem ocorrendo tanto pela expansão da agricultura em ambientes antes naturais e/ou pela expansão urbana da população, que introduzem nesses ambientes aquáticos, uma

quantidade e variedade enorme de substâncias. O aumento do uso de substâncias como agrotóxicos e fertilizantes, não está apenas na quantidade utilizada, mas na variedade das substâncias que atingem tanto em águas superficiais quanto águas subterrâneas (SARAIVA, 2007).

Essas substâncias tóxicas ou não, quando chegam aos ambientes aquáticos, ainda que em pequenas concentrações, podem se bioacumular, e essa bioacumulação, fará com que a sua ação seja altamente prejudicial ao longo das cadeias alimentares, em algum momento (FARIA, 2004; LIMA, 2010).

O fato de uma substância não causar efeito tóxico sobre um determinado organismo aquático, não indica que esta substância não seja prejudicial a este, pois não se avalia como essas substâncias afetam as funções biológicas, por exemplo reprodução, desenvolvimento, crescimento e maturação de ovos (COSTA et al., 2008).

A contaminação de águas superficiais pode ocorrer em função da distância do cultivo até o corpo hídrico, presença de mata ciliar, mobilidade e persistência ambiental do contaminante. Outros fatores de características do corpo hídrico (superfície, profundidade, vazão do rio, condições climáticas como temperatura ambiente, umidade, vento e precipitação), também causam influência nessa contaminação (DE GERONIMO et al., 2014; AZEVEDO et al., 2016; MONDAL et al., 2018). Oliveira, et al., (2023) relatam a presença de inúmeros ingredientes ativos em águas superficiais e subterrâneas no Brasil, assim como, que alguns dos valores encontrados estão superiores aos estabelecidos como máximo permitido pela legislação. O uso cada vez maior de agrotóxicos representa um perigo para toda a biodiversidade existente numa região, pois essas substâncias permeiam por diferentes compartimentos e ao fazerem isso, podem sofrer diversas alterações físicas, químicas e biológicas que são definidoras da sua biodisponibilidade nesses compartimentos.

O uso de agrotóxicos além de afetarem o meio ambiente, causam também sérios danos à saúde da população (ASSUNÇÃO et al., 2020).

Batista *et al.*, (2020) relacionam o alto consumo de agrotóxicos no Brasil, com o aumento e expansão da agricultura, e com a ampliação das terras de cultivo, e apesar da existência de inúmeros agrotóxicos, o glifosato é o ingrediente ativo que ocupa o topo do ranking de comercialização no país.

Na água o glifosato pode ocorrer principalmente pela degradação microbiológica e a união com sedimentos, sua degradação em meio aquoso é demorada, porém, se o meio possuir uma flora microbiana, o herbicida pode decompor-se em ácido aminometilfosfônico, também conhecido como AMPA (AZIZ, 2020). A dinâmica de um agrotóxico no ambiente e permanência dele em um determinado compartimento ambiental, é influenciada pelos processos de degradação física, química ou biológica da substância.

O glifosato tem sido detectado em águas superficiais até 2 meses após a aplicação do produto, um indicativo de que se trata de uma substância que é capaz de persistir no ambiente por um bom período, o que nos alerta para necessidade de um monitoramento mais frequente e rigoroso em ambientes aquáticos destinados ao abastecimento humano (QUEIROZ *et al.*, 2011).

A sub bacia do ribeirão Taquaruçu Grande, pertencente à bacia hidrográfica Araguaia- Tocantins, e está localizada no município de Palmas -TO. É a principal bacia de abastecimento público da capital do Tocantins, chegando a responder por cerca de 60% da água tratada.

Os tratamentos convencionais de água e esgoto não costumam eliminar substâncias complexas, como os agrotóxicos, e traços dessas substâncias contaminantes podem chegar até a população. Outra preocupação ainda maior, é que em muitas ocasiões e lugares essa população pode consumir água sem tratamento adequado de fontes naturais como minas, poços ou mesmo diretamente dos rios (ALMEIDA *et al.*, 2019).

Esta bacia, porém, apresenta diversas formas de uso do solo, tanto em função da expansão da estrutura urbana, da expansão

agropecuária, do loteamento de chácaras na zona rural e da utilização para recreação (praias e balneários). Somados aos empreendimentos, temos estações de como captação de água e tratamento de esgotos, pode-se assim, ter uma ideia do grande número de usos da sub bacia e dos diferentes conflitos entre estes usos.

Afluentes do ribeirão Taquaruçu Grande, como o córrego Machado, também têm sido alvo de intensa ocupação urbana. Todas estas situações têm levado a fenômenos que impactam a qualidade da água da sub bacia e que acarretam alterações da cor da água, mau cheiro, grande quantidade de sedimentos etc., sem contar as alterações que não são percebidas visualmente. Em alguns momentos, também podem ser observadas florações de cianobactérias (microalgas) que surgem como manchas verdes na superfície do ribeirão, tornando a água imprópria para a maioria dos usos a que se propõe (MANTOVANI, 2011; MARQUES, 2015).

O projeto apresentado se justifica por traçar um diagnóstico da contaminação em água superficial de um importante recurso hídrico (Ribeirão Taquaruçu Grande), no que se refere contaminação de glifosato e a relação de uma possível contaminação hídrica em função da expansão urbana e do aumento da agricultura na região.

Um monitoramento, com uma variada gama de parâmetros e durante um período adequado, se faz necessário, pois possibilita um acompanhamento da qualidade da água das bacias hidrográficas, com esse diagnóstico foi possível o monitoramento desses parâmetros ao longo de um ano, contemplando períodos de seca e chuvosos, facilitando a tomada de decisões por órgão responsáveis e possibilitando a gestão de práticas agrícolas sustentáveis na área estudada que está em expansão pois somente uma gestão do uso e da ocupação territorial responsável há possibilidade da garantia da proteção ambiental e a manutenção da biodiversidade desse meio tão importante.

## MÉTODO E MATERIAIS

Segundo Pereira *et al.*, (2018) a metodologia deste trabalho foi quantitativa, uma vez que foram coletados dados numéricos, processados e potencializados, gerando resultados. Todos os testes neste estudo foram realizados em laboratório.

### Área de estudo

O Ribeirão Taquaruçu Grande é um afluente direto do rio Tocantins na sua margem direita. Sua microbacia possui uma área de 458,16 km<sup>2</sup> e alonga-se por aproximadamente 36,9 km no sentido Leste-Oeste (ALVES, 2016). O Ribeirão Taquaruçu Grande nasce dentro da Área de Proteção Ambiental Serra do Lajeado, tendo seu percurso natural dentro de chácaras e fazendas, na região sul de Palmas. A APA foi criada visando à conservação dos recursos naturais ali existentes, principalmente os recursos hídricos, visto que ali se encontram as nascentes dos mananciais que abastecem a população do Plano Diretor do Município de Palmas, os Distritos de Taquaruçu e Taquaralto, assim como os setores das Aurenys's (SILVA NETO, 2011).

Após uma pré-avaliação do local foram escolhidos sete pontos ao longo do braço do ribeirão Taquaruçu Grande, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de Localização dos Pontos de Coleta.



Fonte: Google Earth (2023).

### Coleta das amostras

Foram realizadas duas coletas das amostras, nos meses de outubro/2023, época de período seco na região, e março/2024, época de período chuvoso. Em cada ponto foi coletada uma amostra de água superficial, na margem do ribeirão Taquaruçu Grande.

### Análises físicas, químicas e microbiológicas

As análises seguiram as metodologias definidas por APHA (2017). No ato da coleta foram determinados os parâmetros Turbidez, Temperatura, pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Salinidade, Sólidos Totais dissolvidos com o auxílio da sonda multi-parâmetros (U-50 - Horiba). Os parâmetros Dureza ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , total), Alcalinidade (Bicarbonato, Carbonato, Total) e Cloretos foram determinados através de Titulometria. Amônia, Nitrito, Nitrato, Fluoreto, Sulfato, Sulfeto, Cor Verdadeira, Cor Aparente e Clorofila-a foram determinados por Espectrofotometria. A Demanda Bioquímica de Oxigênio foi determinada por Diferenciação e o Nitrogênio Orgânico por Kjedal. Os Sólidos Suspensos (fixos, totais, matéria orgânica) foram determinados por Gravimetria e os Sólidos Totais Sedimentáveis por Decantação. Por último, porém não menos importante, os parâmetros Coliformes Totais e *Escherichia coli* foram determinados por Colilert.

Para análise dos metais Manganês e Zinco as amostras passaram por processo de digestão ácida em sistema aberto, segundo metodologia proposta por RICE *et al.* (2017) e foram determinados também por meio de espectrofotometria UV-VIS. As análises de Ferro, Alumínio e Cobre foram determinadas por meio de espectrofotométrico com leitura direta pelo método APHA (2017).

As análises de glifosato foram analisadas por cromatografia iônica, com detector de condutividade, modelo 930 Compact IC Flex da marca Metrohm, acoplado com um amostrador modelo 919 IC Autosampler plus da marca Metrohm, utilizando uma coluna de

separação modelo Metrosep A Supp 7 – 250/4.0 da marca Metrohm, segundo Dovidauskas *et al.*, (2020). A metodologia de análise utilizou um fluxo de 0.700 mL·min<sup>-1</sup>, na pressão de 10.19 MPa, sob uma temperatura de 45 °C, tudo realizado de forma automática com um detector de condutividade e uma coluna Metrosep A Supp 7 - 250/4.0.

Após as análises, todos os resultados foram comparados com a Resolução CONAMA nº, 357/05 (BRASIL, 2005). Utilizou-se os dados das 2 coletas realizadas neste trabalho com dados de outras duas coletas de monitoramentos no ano anterior e mesmos pontos amostrados e com os dados de quatro campanhas e 2 anos de monitoramento fez uma análise de PCA (análise de componentes principais) para a análise estatística, que foi conduzida utilizando um script desenvolvido pelos autores em R, no ambiente R Studio. Foram empregados os pacotes 'corrr', 'ggcorrplot', 'FactoMineR', 'tidyverse' e 'ggbiplot' para as diferentes etapas de processamento e visualização dos dados.

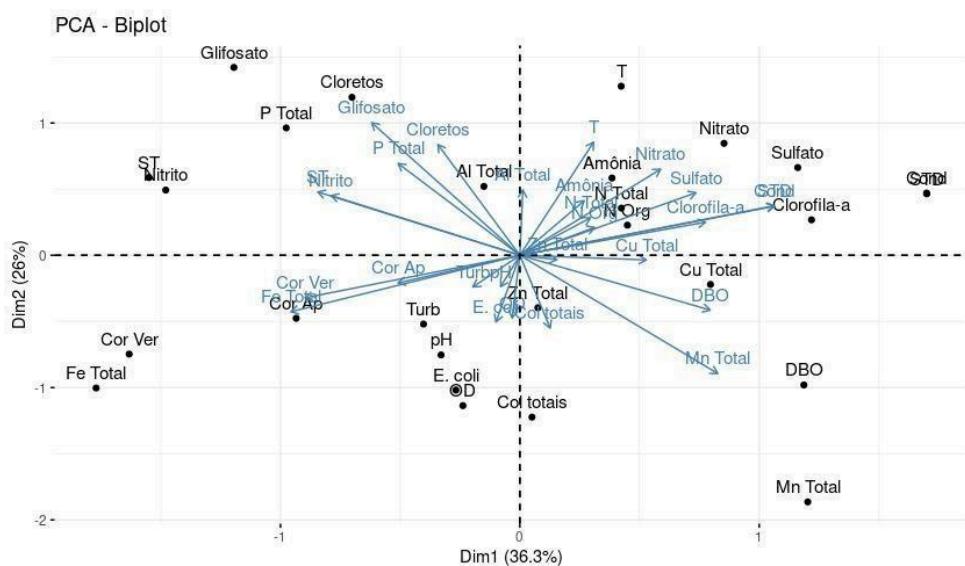
## DADOS E DISCUSSÃO

Após as coletas, foi avaliada a conformidade dos resultados físico-químicos e microbiológicos encontrados, para a maior parte dos parâmetros analisados em relação aos padrões para água doce, classe 2 (classificação do córrego Ribeirão Taquaruçu Grande), segundo a Resolução CONAMA nº, 357/05 (BRASIL, 2005). Esses resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2, apresentadas no apêndice. Os resultados de Cor verdadeira no ponto 5 e de Ferro dissolvido em 6 dos 7 pontos estão em desconformidade no período chuvoso, ao se comparar com o monitoramento anterior no mesmo local, realizado por MANTOVANI *et al.*, (2024), além da desconformidade dos valores de *Escherichia coli* e Clorofila-a. Pode-se verificar que não se observou alteração no alto teor de Fósforo e Cobre em toda a bacia.

Ao realizar a análise estatística de PCA-Biplot dos dados apresentados nas tabelas 1, 2, 3 e 4 disponíveis no apêndice, observa-se que a interpretação do Biplot PCA 1, apresentado na Figura 2, para os componentes Principais (Dim1 e Dim2) que este componente principal,

Dim1, explica a maior parte da variabilidade nos dados (36.3%). As variáveis com setas longas ao longo deste eixo têm maior contribuição para a variação explicada por Dim1. Já o segundo componente principal, Dim2, explica uma quantidade significativa, mas menor da variabilidade (26.1%). As variáveis que apontam ao longo deste eixo têm maior contribuição para Dim2.

Figura 2- Gráfico de componentes principais para os parâmetros de qualidade de água



Fonte: Autor (2024).

Quanto ao posicionamento e correlação das variáveis podemos fazer algumas análises para os agrupamentos visíveis: Clorofila-a, Sulfato, Nitroto são fortemente correlacionados positivamente, sugerindo que essas variáveis tendem a aumentar ou diminuir juntas. O parâmetro E. coli. e Turbidez estão correlacionados positivamente e possivelmente relacionados a fontes de contaminação orgânica. Os resultados mostram que o pH e Cor Aparente apresentam correlação positiva moderada.

A maioria dos metais é enriquecida na cadeia alimentar, desde plantas aquáticas e invertebrados até peixes e mamíferos. Quanto maior o nível trófico do organismo, maior a concentração do metal (GUARDA et al., 2021).

Em muitos casos, a biotransformação pode aumentar a toxicidade de substâncias xenobióticas no organismo através da produção de compostos metabólicos reativos que são mais tóxicos que os compostos originais (YARSAN; YIPEL, 2013).

Os metais transferem-se na cadeia alimentar, através de peixes predadores e organismos de nível trófico superior, incluindo aves marinhas que se alimentam da ictiofauna, mamíferos marinhos e consumidores humanos (SHEPPARD et al., 2010; NASER, 2013; FREIJE, 2015; apud AZEVEDO, 2019, p. 19).

Ao avaliar-se as correlações negativas verificou-se que *E. coli* vs. pH são parâmetros que estão posicionados em direções opostas no gráfico, indicando que locais com altos níveis de *E. coli* tendem a ter pH mais baixo e vice-versa. O Sulfato e Mn Total apresentam correlação negativa moderada.

A análise da contribuição das variáveis para os Componentes pode-se dizer que as variáveis fortemente contribuintes para Dim1 são: Clorofila-a, Sulfato, Nitrato pois possuem longas setas indicando alta contribuição para Dim1. Pode-se notar que Mn Total também contribui significativamente para Dim1, mas em direção oposta às variáveis acima.

A análise das variáveis que fortemente contribuintes para Dim2 são DBO, *E. coli* pois apresentam altas contribuições para Dim2, indicando que a variação ao longo deste eixo é fortemente influenciada por esses parâmetros.

Quando se realizou a análise das interpretações de Amostras, ficou evidenciado que as amostras distribuídas ao longo de Dim1 (amostras à direita do gráfico) têm altos valores de Clorofila- a, Sulfato e Nitrato, já as amostras à esquerda, têm baixos valores dessas variáveis, mas possivelmente altos valores de Mn Total. Para as amostras distribuídas ao longo de Dim2 verificou-se que as amostras na parte superior têm altos valores de DBO e *E. coli* e as amostras na parte inferior têm baixos valores desses parâmetros, mas podem ter altos

valores de outras variáveis.

Vale ressaltar com a análise específica de parâmetros que *E. coli* e Turbidez estão associados, sugerindo que áreas com alta turbidez (água turva) também têm alta contaminação fecal. A baixa correlação com pH indica que a acidez ou alcalinidade da água não está diretamente relacionada com a presença de *E. coli*.

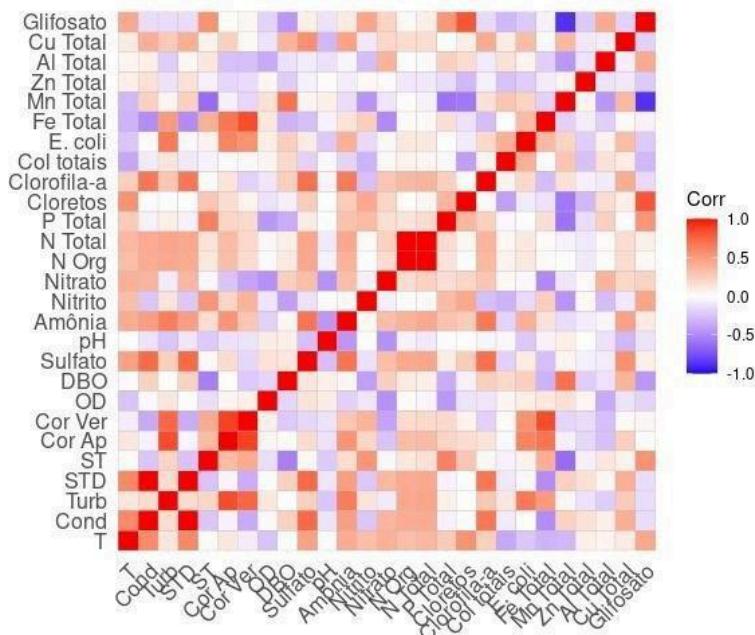
O parâmetro DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) apresentou alta contribuição para Dim2 e isolada no gráfico, indicando uma variação distinta em comparação com outros parâmetros. Pode indicar regiões com alta atividade biológica e matéria orgânica. As análises de PCA, também indicaram que Nitrato e Sulfato estão fortemente correlacionados, sugerindo uma origem comum, possivelmente agrícola ou de escoamento industrial.

Ao se fazer uma análise de correlação, apresentada na Figura 3 pose-se dizer que agrupamentos que se apresentaram como indicadores de Qualidade da Água foram: Os parâmetros como Clorofila-a, Sulfato e Nitrato podem estar relacionados a fontes de contaminação agrícola. *E. coli* e Turbidez indicam contaminação orgânica, possivelmente de origem fecal.

Quanto às fontes de contaminação, a correlação entre parâmetros específicos pode ajudar a identificar fontes de contaminação. Por exemplo, altos níveis de Nitrato e Sulfato podem indicar escoamento agrícola, enquanto altos níveis de *E. coli* e Turbidez podem apontar para contaminação de esgoto.

O entendimento dessas relações pode guiar estratégias de monitoramento e remediação. Áreas com alta contaminação fecal devem ser monitoradas para *E. coli* e Turbidez, enquanto regiões agrícolas devem focar em Nitrato e Sulfato esses dados podem contribuir para gestão da Qualidade da Água.

Figura 3- Gráfico de Correlação dos parâmetros de qualidade de água.



Fonte: Autor (2024).

Uma interpretação do Gráfico de Correlação mostra que vermelho indica uma relação positiva (valores próximos de +1 indicam forte correlação positiva), azul uma correlação negativa (valores próximos de -1 indicam forte correlação negativa) e branco parâmetros com pouca ou nenhuma correlação (valores próximos de 0).

Ao analisar as principais Correlações Positivas pode-se verificar que parâmetros como Clorofila-a, Nitrato, Sulfato estão fortemente correlacionados entre si, sugerindo que esses parâmetros aumentam ou diminuem juntos, possivelmente devido a fontes comuns, como atividades agrícolas ou de escoamento de fertilizantes. Já DBO e E. coli possuem correlação positiva moderada, indicando que áreas com alta demanda bioquímica de oxigênio tendem a ter maiores concentrações de E. coli, sugerindo contaminação orgânica.

Dentre as principais correlações negativas verificou-se que E. coli e pH possuem correlação negativa moderada, indicando que altos níveis de E. coli estão associados a valores de pH mais baixos, o que pode ocorrer em ambientes mais ácidos. E que Mn Total e Sulfato possuem correlação negativa, sugerindo que a presença de Mn Total é

inversamente relacionada à concentração de Sulfato.

Outras observações notáveis são que Nitrito e N Org correlacionam-se positivamente, indicando que níveis elevados de Nitrito estão associados a maiores concentrações de Nitrogênio Orgânico. Assim como condutividade (Cond) e Turbidez (Turb) que também se relacionam positivamente, porém de forma mais moderada, sugerindo que águas com maior turbidez tendem a ter maior condutividade, o que pode ser indicativo de maior presença de sólidos dissolvidos.

Ao realizar uma análise específicas de Parâmetros podemos verificar que: Amônia e N Total apresentam correlação positiva moderada, sugerindo que a amônia contribui para os níveis totais de nitrogênio na água. OD (Oxigênio Dissolvido) e DBO, apresentam correlação negativa moderada, indicando que níveis elevados de DBO estão associados a níveis mais baixos de oxigênio dissolvido,

o que é esperado, pois a DBO representa a demanda de oxigênio necessária para decompor matéria orgânica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final das análises químicas dos parâmetros monitorados pode ser concluído ao término deste trabalho e da análise se PCA que alguns parâmetros podem ser agrupados por serem indicadores fontes de Contaminação sendo eles Clorofila-a, Sulfato, Nitrato que indicaram influência agrícola ou escoamento de fertilizantes, enquanto que E. coli e Turbidez foram indicativos de contaminação orgânica, possivelmente de esgoto.

Quanto às possíveis fontes de contaminação, nutrientes (e.g., Nitrato, Sulfato) provavelmente estão associados a atividades agrícolas. Quanto à presença de contaminantes orgânicos (e.g., E. coli, DBO) estes podem ser indicativos de escoamento de esgoto ou matéria orgânica.

Com foco em estratégias de monitoramento pode-se concluir que a correlação de parâmetros é eficiente para detectar fontes de contaminação de forma bem direta. Contaminação agrícola:

Monitoramento de Nitrato, Sulfato e Clorofila-a. Contaminação Orgânica: Monitoramento de *E. coli*, Turbidez e DBO.

Após este estudo verificou-se que para se realizar a gestão da qualidade de água é importante implementação de práticas agrícolas que minimizem o escoamento de fertilizantes para reduzir Nitrato e Sulfato na água, que é imprescindível melhorar o tratamento de esgoto e práticas de saneamento para reduzir contaminação por *E. coli* e DBO.

Assim como desenvolver programas de monitoramento contínuo focados nos parâmetros mais críticos identificados pelas correlações, para ações corretivas rápidas.

Essa análise mais aprofundada combina informações do biplot PCA com o gráfico de correlação para fornecer uma compreensão mais completa das relações entre os parâmetros de qualidade da água e suas possíveis fontes de contaminação.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. B.; MADEIRA, T. B.; WATANABE, L. S.; MELETTI, P. C.; NIXDORF, S. L. Pesticide Determination in Water Samples from a Rural Area by Multi-Target Method Applying Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, [s.l.], v. 30, n. 8, p. 1657-1666, 2019.
- ALVES, Thalles Delano Cordeiro Vilarins. Análise de desempenho de estações de tratamento de esgoto visando condições de outorga e enquadramento de corpos hídricos: o caso das ETE's Aureny e Prata, Palmas-TO. 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wast-water. 21. ed. New York: APHA, AWWA, WPCF, 2005.
- ARIAS, A. R. L.; BUSS, D. F.; ALBURQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. *Ciênc. saúde coletiva*, v.12, n.1, p.61-72, 2007
- AZEVEDO, J. C. R.; MOURA, E. R. R.; SANTOS, M. M. Determinação de Pesticidas na Água e Sedimento do Rio Piquiri. *Ramo: Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 9, n. 3, p. 651- 671.
- AZEVEDO, James Werllen de Jesus. Ictiofauna do golfão maranhense –

Amazônia oriental: diversidade, distribuição e concentração de metais na água e nos peixes (2019). 142 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão.

AZIZ, Zainab Abdul. Efeitos toxicológicos do Glifosato (2020). Mestrado integrado em ciências farmacêuticas, Instituto Universitário Egas Moniz, v. 1, n. 1, p. 1-63, dez./2020. Disponível em: [https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/35095/1/Aziz\\_Zainab\\_Abdul.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/35095/1/Aziz_Zainab_Abdul.pdf). Acesso em: 10 mar. 2023.

BATISTA, C. M.; PEREIRA, P. V.; SALOMÃO, P. E. A. O estudo do consumo do glifosato no município de Teófilo Otoni no período de 2017 e 2018. Research, Society and Development, Universidade Presidente Antônio Carlos, Brasil, v. 9, n. 2, p. 1-16, jan./2020.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Resolução N.º 357 de 17 de novembro de 2005: que 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. Brasília, 2005.

BUCCI, M. M. H. S.; DELGADO, F. E. F. da; SANTOS, D. da S.; OLIVEIRA, L. F C.de. Análise de metais, agrotóxicos, parâmetros físico-químicos e microbiológicos nas águas da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora, MG. Revista Ambiente & Água, v. 10, n. 4, p. 804-824, 2015.

CETESB- Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. - São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. Química Nova, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

DE GERÓNIMO, E.; APARICIO, V. C., BÁRBARO, S.; PORTOCARRERO, R.; JAIME, S.; COSTA, J. L. Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. Chemosphere, v.107, p. 423-431, 2014.

DUSABE, M. C.; WRONSKI, T.; SILVA, G. S.; PLATH, M.; ALBRECHT, C.; APIO, A. Biological 9 water quality assessment in the degraded mutara rangelands, northeastern Rwanda. Environ Monit Assess. v.191, n.39, p.1-13, 2019.

FARIA, Leonardo Jardim da Silva. Avaliação de diferentes solventes na

extração em fase sólida de pesticidas em água: desenvolvimento e validação de metodologia. (2004). 79f. Dissertação de mestrado. Instituto de Química. UNICAMP. 2004.

FILIZOLA, E. F.; GOMES, M. A. F. SOUZA, M.D. Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2016.

GUARDA, P. M.; RAMBO, M. K. D.; MACHADO, M. M. D.; RAMOS, F. O.; MENDES, D. B.; GUARDA, E. A.; SILVA, J. E. C.. Monitoring the water quality Formoso river of the Amazon Region – Brazil using principal component analysis. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.5, p.94-104, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.005.0009>.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, ano 2, no 1, 2003.

LIMA, Raquel Aparecida Mendes. Avaliação da contaminação de *Leptodactylus ocellatus*, ocasionada por agrotóxicos, na sub-bacia do Rio Urubu – TO. (2010). 178 f. Dissertação (Mestrado)

- Curso de Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2010. MANTOVANI, D; MOSER, A. S.; FAVERO, D. M. Cianobactérias em Reservatórios Brasileiros e Seus Prejuízos à Saúde Pública, *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v.4, n.1, p. 145-155, jan./abr. 2011.

MANTOVANI, J. N.; ROCHA, B. C.; SILVA, C. H. do N.; GUARDA, E. A.; GUARDA, P. M. Monitoramento De Metais E Qualidade De Água No Ribeirão Taquaruçú Grande E Afluentes. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, [S. l.], v. 11, n. 3, 2024. DOI: 10.20873/2024\_v3\_19. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/18240>. Acesso em: 14 ago. 2024.

MARQUES, A. K; *et al.*; Avaliação da qualidade da água do ribeirão taquaruçú grande e sua influência no reservatório da UHE Lajeado, médio Tocantins, Brasil. *Revista SODEBRAS*, V 10, Nº 117, SETEMBRO, 2015.

MONDAL, R., MUKHERJEE, A.; BISWAS, S., KOLE, R. K.; GC-MS/MS determination and ecological risk assessment of pesticides in aquatic system: A case study in Hooghly River basin in West Bengal, India. *Chemosphere*. v. 206 p. 217-230, 2018.

OLIVEIRA, M. P, SILVA, A. B. S. , RIGUETO, C. V. T., LOSS, R. A. , GUEDES, S.F; QUELI GERALDI, C. A. Pesticides in different environmental compartments in Brazil: a review .Ciência e Natura, v.45, e2. Original work published January 31, 2023).

PINTO, C.C.; CALAZANS, G.M.; OLIVEIRA, S.C. Assessment of spatial variations in the surface water quality of the Velhas River Basin, Brazil, using multivariate statistical analysis and nonparametric statistics. Environ Monit Assess. v.191 n.164, 2019.

QUEIROZ, G. M. P; SILVA, M. R.; BIANCO, R. J. F; PINHEIRO, A.; VANDER KAUFMANN, V. Transporte de glifosato pelo escoamento superficial e por lixiviação em um solo agrícola, Química Nova, v. 34, n. 2, p. 190-195, 2011.

QUEIROZ, J. F.; SILVA, M. S. G. M.; STRIXINO, S. T. Organismos Bentônico: biomonitoramento de qualidade de água. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente, 2008.

SARAIVA, Vanessa Kelly. Critérios para avaliação da qualidade de sedimentos. Estudo de caso: Sub-Bacia do Ribeirão Espírito Santo, Afluentes do Rio São Francisco. (2007). Dissertação (Mestrado em Ciência 10 e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Belo Horizonte, 2007.

SILVA, Douglas Batista da. Qualidade de Água e Sedimento em Reservatório. (2016). Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear- Materiais) - Instituto De Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2016.

SOUSA, A. C.; CRUZ, A. D.; OLIVEIRA, G. J. S; FELIX, A. M. C. NUNES, R. K. F; ALVES, G. S. Análise exploratória da qualidade da água tratada, armazenada em caixas-d'água do bairro do Roger, em João Pessoa, PB. Principia (João Pessoa), v. 29, p. 110-118, 2016.

YARSAN, E.; YIPEL, M. The Important Terms of Marine Pollution "Biomarkers and Biomonitoring, Bioaccumulation, Bioconcentration, Biomagnification". (2013). J Mol Biomark Diagn S1: 003. doi:10.4172/2155-9929.S1-003

APÊNDICE

TABELA 1-Parâmetros físico-químicos e microbiológicos amostrados no ribeirão Taquaruçu Grande, período seco de 2022.

		Coleta 1						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
T	°C	24,50	25,44	26,08	27,21	30,77	29,98	30,26
Cond	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	5	14	16	24	86	115	85
Turb	100NTU	2,3	4,5	4,5	4,9	38	50,1	4,3
STD	500 $\text{mg.L}^{-1}$	3	9	10	15	56	74	55
ST	$\text{mg.L}^{-1}$	<1	<1	<1	16	27	36	4
Cor Ap	$\text{Pt.L}^{-1}$	18	31	26	44	90	74	9
Cor Ver	75 $\text{mg Pt.L}^{-1}$	12	19	18	22	16	18	5
OD	>5 $\text{mg.L}^{-1}$	7,5	7,24	5,84	5,59	8,91	6,79	7,59
DBO	5 $\text{mg.L}^{-1}$	3,16	3,84	3,78	3,94	3,83	3,62	1,08
Sulfato	250 $\text{mg.L}^{-1}$	1,14		<0,64		3,29	4,67	1,76
pH	6,0 a 9,0	6,59	7,52	5,84	8,69	8,64	4,74	7,14
Amônia	<3,7 $\text{mg.L}^{-1}$	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,22	0,79	<0,02
Nitrito	1,0 $\text{mg.L}^{-1}$	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	<0,002	0,004
Nitrato	10,0 $\text{mg.L}^{-1}$	0,2	0,2	0,6	0,2	0,3	0,5	0,2
N Org	$\text{mg.L}^{-1}$	5,6	1,87	3,73	4,67	6,53	7,47	1,87
N Total	$\text{mg.L}^{-1}$	5,802	2,072	4,332	4,875	6,832	7,97	2,074
P Total	0,1 $\text{mg.L}^{-1}$	0,27	0,29	0,24	0,25	0,24	0,28	0,28
Cloreto s	250 $\text{mg.L}^{-1}$	4,68	5,38	4,68	5,15	6,55	6,32	4,68
Clorofil a-	30 $\mu\text{g.L}^{-1}$	1,8	1,2	0,8	1,58	70,3	124,9	5,5
Col totais	$\text{NMP.100ml}^{-1}$	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6
E. coli	1000 $\text{NMP.100ml}^{-1}$	770,1	1553,1	1046,2	686,7	1732,9	>2419,6	25,9

Fe Total	0,3 mg.L <sup>-1</sup>	0,14	0,15	0,09	0,37	<0,02	0,02	<0,02
Mn Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Zn Total	0,18 mg.L <sup>-1</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Cu Total	0,009 mg.L <sup>-1</sup>	0,04	0,06	0,04	0,06	0,08	0,18	0,07

Fonte: MANTOVANI *et al.*, (2024).

TABELA 2-Parâmetros físico-químicos e microbiológicos amostrados no ribeirão Taquaruçu Grande, período chuvoso de 2023.

		Coleta 2						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
T	°C	24,29	24,85	24,96	25,3	27,21	28,32	29,54
Cond	µS.cm <sup>-1</sup>	4	17	21	24	24	41	55
Turb	100NTU	5,8	11,7	14	46,3	77,4	27,5	5,3
STD	500 mg.L <sup>-1</sup>	2	11	13	15	16	26	36
ST	mg.L <sup>-1</sup>	10	20	100	150	80	60	55
Cor Ap	Pt.L <sup>-1</sup>	16	37	47	95	188	37	20
Cor Ver	75 mg Pt.L <sup>-1</sup>	10	25	32	72	123	24	12
OD	>5mg.L <sup>-1</sup>	7,43	7,16	6,95	6,12	7,85	6,8	7,08
DBO	5mg.L <sup>-1</sup>	0,81	2,04	1,79	0,99	1,02	1,3	0,62
Sulfato	250 mg.L <sup>-1</sup>	<0,3	0,578	0,689	0,71	1,057	1,732	0,973
pH	6,0 a 9,0	7,6	6,81	8,07	8,27	6,2	5,43	7,18
Amônia	<3,7 mg.L <sup>-1</sup>	0,04	0,12	0,15	0,24	0,43	0,34	0,11
Nitrito	1,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,003	0,004	0,002	0,008	<0,002	0,006	0,005
Nitroato	10,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,3	0,2	0,2	0,2	<0,1	0,4	0,3
N Org	mg.L <sup>-1</sup>	3,73	2,8	1,87	6,53	7,47	2,8	3,73
N Total	mg.L <sup>-1</sup>	4,073	3,124	2,222	6,978	7,9	3,546	4,145

P Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,28	0,29	0,33	0,52	0,27	0,35	0,28
Cloreto s	250 mg.L <sup>-1</sup>	4,92	4,4	4,14	3,88	3,88	3,04	3,88
Clorofil a-a	30 µg.L <sup>-1</sup>	1,2	12,81	68,96	44,33	2	22,66	10,6
Col totais	NMP.100ml <sup>-1</sup>	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	1732,9
E. coli	1000 NMP.100ml <sup>-1</sup>	410,6	547,5	920,8	>2419,6	>2419,6	1203,3	13,4
Fe Total	0,3 mg.L <sup>-1</sup>	0,36	0,53	0,61	0,74	1,41	0,41	0,23
Mn Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zn Total	0,18 mg.L <sup>-1</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,14
Al Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,018	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
Cu Total	0,009 mg.L <sup>-1</sup>	<0,04	<0,04	0,04	0,06	<0,04	0,04	<0,04

Fonte: MANTOVANI *et al.*, (2024).

TABELA 3-Parâmetros físico-químicos e microbiológicos amostrados no ribeirão Taquaruçu Grande, período seco de 2023.

		C3						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
T	°C	26	26,6	27,3	30,05	33,09	31,2	32,46
Cond	µS.cm <sup>-1</sup>	40,5	9	12	30	69	75	70
Turb	100NTU	27,9	0	0	5,8	18,1	5,2	0
STD	500 mg.L <sup>-1</sup>	20,4	6	8	19	44	48	46

ST	mg.L <sup>-1</sup>	91	27	94	135	25	136	58
Cor Ap	Pt.L <sup>-1</sup>	35	17	22	54	48	43	<3
Cor Ver	75 mg Pt.L <sup>-1</sup>	25	14	15	20	8	6	<3
OD	>5mg.L <sup>-1</sup>	6,2	7,47	8,26	3,6	6,2	5,7	7,18
DBO	5mg.L <sup>-1</sup>	1,59	0,98	0,64	2,33	1,39	1,48	1,45
Sulfato	250 mg.L <sup>-1</sup>	<0,3	1,5	1	1,6	2,7	2,3	1,7
pH	6,0 a 9,0	5,88	8,98	6,19	6,41	7,08	6,89	7,31
Amônia	<3,7 mg.L <sup>-1</sup>	0,16	0,11	0,12	0,34	0,52	0,31	<0,02
Nitrito	1,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004
Nitrato	10,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,4	0,2	0,3	0,5	0,4	0,4	0,4
N Org	mg.L <sup>-1</sup>	2,8	2,8	1,87	3,73	5,6	6,53	9,33
N Total	mg.L <sup>-1</sup>	3,363	3,112	2,293	4,573	6,524	7,244	9,734
P Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,3	0,35	0,36	0,51	0,39	0,55	0,33
Cloreto	250 mg.L <sup>-1</sup>	6,67	7,13	6,9	7,13	8,05	7,13	5,52
Clorofil a- a	30 µg.L <sup>-1</sup>	5,91	19,7	0,99	17,34	56,55	95,17	3,74
Col totais	NMP.100ml <sup>-1</sup>	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	1119,9	>2419,6	>2419,6
E. coli	NMP.100ml <sup>-1</sup>	>2419, 6	727	1299,7	866,4	19,9	65,7	5,2
Fe Total	0,3 mg.L <sup>-1</sup>	0,14	0,22	0,24	0,52	<0,02	0,02	<0,02
Mn Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,006	0,009	0,006	0,015	0,005	0,006	0,016
Zn Total	0,18 mg.L <sup>-1</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,043	0,017	0,02	0,036	0,013	0,017	0,028
Cu Total	0,009 mg.L <sup>-1</sup>	0,03	0,02	0,04	0,11	0,01	0,03	0,04

Glifosato	65 µg/L	<3	<3	<3	<3	<3	<3
-----------	---------	----	----	----	----	----	----

Fonte: Próprio autor (2024)

TABELA 4-Parâmetros físico-químicos e microbiológicos amostrados no ribeirão Taquaruçu Grande, período chuvoso de 2024.

		C4						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
T	°C	26,5	27,11	27,17	27,62	32,76	32,69	33,18
Cond	µS.cm <sup>-1</sup>	3	9	11	15	15	27	32
Turb	100NTU	16,2	15,3	22,8	22,1	39,8	44	4,1
STD	500 mg.L <sup>-1</sup>	2	6	7	9	10	18	21
ST	mg.L <sup>-1</sup>	242	138	153	127	94	75	65
Cor Ap	Pt.L <sup>-1</sup>	52	48	102	69	143	57	41
Cor Ver	75 mg Pt.L <sup>-1</sup>	42	34	59	54	83	40	35
OD	>5mg.L <sup>-1</sup>	7,03	6,91	8,11	8,55	5,79	6,59	5,94
DBO	5mg.L <sup>-1</sup>	0,06	0,16	1,57	0,94	1,78	1,87	1,71
Sulfato	250 mg.L <sup>-1</sup>	1,34	1,2	1,87	1,59	1,29	<0,2	1,31
pH	6,0 a 9,0	6,13	6,42	6,5	6,6	6,75	7,14	7,55
Amônia	<3,7 mg.L <sup>-1</sup>	0,12	0,14	0,2	0,22	0,35	0,25	0,19
Nitrito	1,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,009	0,007	0,007	0,01	0,009	0,009	0,011
Nitrato	10,0 mg.L <sup>-1</sup>	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3
N Org	mg.L <sup>-1</sup>	4,67	4,67	3,73	4,67	3,73	5,6	2,8
N Total	mg.L <sup>-1</sup>	5,1	5,017	4,137	5,2	4,39	6,26	3,3
P Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,36	0,33	0,41	0,37	0,44	0,4	0,29
Cloreto	250 mg.L <sup>-1</sup>	6,14	6,59	8,63	7,95	8,86	8,18	8,86
Clorofila-a	30 µg.L <sup>-1</sup>	8,28	0,2	0,59	0,2	11,03	10,6	<0,002
Col	NMP.100ml <sup>-1</sup>	>2419,6	1986,3	1413,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	1299,7

totais								
E. coli	1000 NMP.100ml <sup>-1</sup>	261,3	435,2	686,7	1553,1	2419,6	222,4	7,5
Fe Total	0,3 mg.L <sup>-1</sup>	0,32	0,53	0,81	0,76	0,47	0,25	0,33
Mn Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	0,015	0,016	0,022	0,014	0,035	0,011	0,024
Zn Total	0,18 mg.L <sup>-1</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al Total	0,1 mg.L <sup>-1</sup>	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	0,009	<0,008	<0,008
Cu Total	0,009 mg.L <sup>-1</sup>	0,05	0,06	0,09	0,04	0,06	0,03	0,05
Glifosato	65 µg/L	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3

Fonte: Próprio autor (2024)

#### FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins

## Capítulo 10

# RISCO DE CONTAMINAÇÃO EM COLEMBOLOS DA ESPÉCIE *Sinella curviseta* PELO USO DE AGROTÓXICOS EM SOLOS DE REGIÕES DE AVANÇO AGRÍCOLA DO CERRADO

Ícaro Thiago Almeida Tavares <sup>1</sup>  
Emerson Adriano Guarda <sup>2</sup>  
Vanessa Bezerra de Menezes Oliveira <sup>3</sup>  
Diogo Vinícius Soares da Silva <sup>4</sup>  
Patrícia Martins Guarda <sup>5</sup>

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo investigar o risco de contaminação de colêmbolos da espécie *Sinella curviseta* pelo uso de agrotóxicos em solos de regiões de avanço agrícola do Cerrado. Ensaios ecotoxicológicos foram realizados utilizando tebuconazol, um fungicida sistêmico amplamente utilizado, para avaliar os impactos sobre a reprodução e sobrevivência desses organismos. Dois tipos de solo foram utilizados: um solo natural (NAT) coletado no Cerrado e um solo artificial tropical (SAT) preparado em laboratório. Os resultados indicaram que, embora a sobrevivência dos colêmbolos tenha sido superior a 75% em todos os ensaios, os impactos na reprodução foram mais acentuados no solo artificial, onde foi observado um maior número de juvenis. As concentrações de efeito (CE20) foram determinadas para os dois tipos de solo, sendo 208,21 mg/kg para o SAT e 128,71 mg/kg para o solo natural. Não foi possível determinar a Concentração de Efeito Observável (CEO) ou a Concentração de Efeito Não Observável (CENO), o que sugere que o tebuconazol, nas doses testadas, não causou efeitos significativos nos colêmbolos. Contudo, os resultados apontam para a importância do tipo de solo na modulação dos efeitos do contaminante. Este estudo destaca a relevância de utilizar diferentes tipos de solos e organismos alternativos em ensaios ecotoxicológicos, a fim de obter uma avaliação mais precisa dos riscos ecológicos associados ao uso de agrotóxicos em solos tropicais.

Palavras-chave: Tebuconazol; Bioindicadores; Organismos do solo.

---

<sup>1</sup> Discente de Engenharia ambiental, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, icaro.tavares@mail.uft.edu.br. <sup>2</sup> Doutor em Química Orgânica, docente do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, emersonprof@mail.uft.edu.br.

<sup>3</sup> Doutora em Biologia, docente do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, vbmoliveira@mail.uft.edu.br.

<sup>4</sup> Engenheiro Ambiental, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, diogo.vinicius@mail.uft.edu.br.

<sup>5</sup> Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia, docente do curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, patriciaguarda@mail.uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos maiores exportadores de produtos agrícolas do mundo, com grande parte de sua produção concentrada no bioma Cerrado. No entanto, essa expansão agrícola tem impactado negativamente o bioma, especialmente devido à crescente demanda por alimentos (MUELLER; MARTHA JR, 2008). A intensificação da agricultura resulta em desmatamento acelerado, afetando os recursos hídricos, a biodiversidade e a qualidade do solo (KLINK; MACHADO, 2005).

A atividade agrícola é a base do sistema agropecuário e alimentar, sendo indispensável para a humanidade. No entanto, considerando a inevitabilidade da intervenção humana, é crucial adotar métodos de produção que minimizem os impactos ambientais, visando à preservação da biodiversidade dos biomas (GUARDA et al., 2019).

Na década de 1960, ocorreu a Revolução Verde, que introduziu técnicas para aumentar a produção agrícola, com ênfase no uso intensivo de agrotóxicos, visando suprir a demanda alimentar crescente em função do aumento populacional (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018). O Cerrado foi utilizado como um campo de experimentação dessas técnicas, o que resultou em impactos negativos, como a redução da fertilidade do solo, a extinção de espécies, erosão e contaminação do solo. Esses danos ocorreram tanto pela expansão das áreas agrícolas quanto pelo desenvolvimento urbano e industrial incentivado pela Revolução Verde (ALVES, 2014).

O Cerrado, o segundo maior bioma brasileiro, ocupa grande parte da região central do país (KLINK; MACHADO, 2005). É um conjunto de ecossistemas com alta biodiversidade, abrigando numerosas espécies endêmicas (MESQUITA, 2011). Com uma fauna composta por cerca de 160.000 espécies de animais, plantas e fungos (COBA, 2012), o Cerrado também inclui a maior parte do território do Tocantins (CARVALHO et al., 2018).

O uso indiscriminado de agrotóxicos no controle de pragas é amplamente praticado, levando à necessidade de métodos alternativos de controle devido à pressão de mercados importadores, preocupados com a segurança fitossanitária e a qualidade dos produtos, além da necessidade de evitar contaminação e pragas (OLIVEIRA, 2006).

O solo desempenha um papel essencial na produção agrícola, sendo a principal fonte de alimentos para o planeta. Além disso, ele abriga uma diversidade de organismos, conhecidos como fauna edáfica, que proporcionam benefícios às plantas e a outros seres vivos. Esses organismos auxiliam na decomposição de matéria orgânica e no controle de pragas, além de estimular o desenvolvimento microbiano (CORREIA, 2005).

Nesse contexto, os estudos sobre a toxicidade do tebuconazol em organismos do solo revelam os efeitos adversos que esse fungicida pode ter sobre espécies essenciais para a manutenção da qualidade do solo (KOVAČEVIĆ et al., 2023). Em ensaios com *Dendrobaena veneta*, foi observado que concentrações superiores a 25 mg/kg de tebuconazol atrasam a eclosão de juvenis e reduzem significativamente sua massa corporal, o que compromete a regeneração populacional. Organismos adultos apresentaram maior resistência, mas o impacto em organismos jovens ressalta a importância de avaliar a toxicidade a diferentes estágios de desenvolvimento (KOVAČEVIĆ et al., 2023). Além disso, o fungicida também reduz a biomassa microbiana e a atividade no solo, comprometendo a ciclagem de nutrientes (MUÑOZ-LEOZ et al., 2011).

A espécie *Sinella curviseta* tem se destacado como uma alternativa importante em estudos ecotoxicológicos, especialmente no que se refere à avaliação de agrotóxicos em solos tropicais. Diferente de *Folsomia candida*, amplamente utilizada em estudos ecotoxicológicos e que se reproduz de forma partenogenética, *S. curviseta* apresenta reprodução sexuada, o que a torna mais sensível a variações ambientais, como a presença de pesticidas (ISO 11267/2014). Essa espécie também possui fácil adaptabilidade ao ambiente laboratorial,

sendo recomendada para aumentar o realismo dos estudos e a precisão na avaliação dos impactos ambientais (ZHANG et al., 2019).

A utilização de *S. curviseta* nos ensaios de ecotoxicidade permite uma análise mais abrangente dos efeitos dos agrotóxicos em organismos edáficos, como foi demonstrado em ensaios que avaliaram o impacto do fipronil na reprodução dessa espécie. A norma ISO 11267 padroniza esses ensaios, evidenciando que a resposta de *S. curviseta* pode ser significativamente diferente de *F. candida*, reforçando a necessidade de utilizar espécies alternativas para uma avaliação mais precisa dos riscos ecológicos (OROSKI, 2022).

Dessa forma, a preservação da biodiversidade e a promoção da sustentabilidade agrícola no Cerrado podem ser alcançadas com a integração entre a conservação ambiental e a prática agrícola sustentável. Essa relação deve ser equilibrada, buscando não apenas o crescimento do PIB agrícola, mas também a mitigação das alterações no bioma Cerrado. Organismos terrestres desempenham um papel fundamental nesse processo, uma vez que são essenciais para a manutenção da fertilidade do solo.

Considerando o uso indiscriminado de agrotóxicos e a ausência de alternativas eficazes para o controle de pragas, a preocupação com os impactos sobre os recursos biológicos é crescente. Estudos como os realizados com tebuconazol demonstram a relevância de se compreender como essas práticas afetam a dinâmica das comunidades do solo, que são cruciais para a manutenção da qualidade e produtividade agrícola.

## MÉTODO E MATERIAIS

Neste estudo foram empregados dois tipos de solos, sendo um solo natural coletado no Sítio Seis Pétalas localizado no distrito de Taquaruçu, Palmas – TO, este foi peneirado em malha de 2mm para separação de matéria orgânica e inorgânica de grande porte. Além disso, passou por um processo de defaunação (consiste no

congelamento e degelo três vezes consecutivos). É um solo artificial tropical (SAT) preparado em laboratório a partir de uma mistura de 75% de areia, 20% de caulim, 5% de pó de fibra de coco e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para correção do pH do solo para a faixa de 5,5 a 6,5 conforme o necessário (ISO 10390, 2005).

## **CULTIVO E MANUTENÇÃO**

O cultivo foi feito em meio a base de gesso, carvão ativado e água destilada, numa proporção de 1:10 (1 xícara de carvão ativado para 10 de gesso) e 450ml de água destilada.

Após homogeneização, foi transferida para potes translúcidos em ambiente controlado com fotoperíodo de 16:8 horas (claro:escuro), e temperatura de 20 °C ( $\pm 2$  °C). A oferta de umidade se deu conforme a necessidade, com verificação a cada dois dias (segunda, quarta e sexta), e como alimento foi ofertado levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) por três vezes a cada semana.

## **SINCRONIZAÇÃO**

Nesta etapa do trabalho os organismos são incentivados a botar ovos a partir de estresse, troca de meio de cultivo e adição de detritos (fragmentos do mesmo material do meio). Após alguns dias os ovos são coletados e reservados em outro meio. Em seguida é observado o dia de nascimento e os organismos são separados para uma sincronização onde eles tenham entre 21 e 23 dias para realização do ensaio.

## **ENSAIOS DE TOXICIDADE**

Os ensaios de toxicidade foram realizados no contaminante abaixo apresentados com as suas observações.

Contaminante: Tebuconazol

Formulação Comercial: RIVAL 200 EC

Classe: Fungicida Sistêmico

Grupo Químico: Triazol

Tipo de Formulação: Concentrado Emulsionável [EC]

Composição:

RS-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3ol

A dose recomendada para o experimento foi calculada com base na maior dose aplicada em culturas agrícolas. Nesse contexto, a dose mais elevada foi observada para o cultivo do mamão, sendo indicado o uso de 1 litro por hectare, com até seis aplicações anuais. Após realizar a conversão de unidades, chegou-se a uma dose recomendada de 0,4 mg.kg<sup>-1</sup> de solo seco.

As concentrações definidas para o ensaio foram: 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; e 6,4 mg.kg<sup>-1</sup>, correspondentes às concentrações C1, C2, C3, C4 e C5, respectivamente. Além de foi realizado uma ensaio controle, denominado CT (controle) que foram ensaios (tratamentos) sem contaminante.

Esses níveis de concentração foram estabelecidos com base em estudos anteriores, onde foi possível verificar que a concentração letal (CL) se manteve inferior a 20% em todos os tratamentos realizados. Além disso, o efeito tóxico só foi observado a partir de doses de 41 mg.kg<sup>-1</sup>, o que representa uma concentração mais de 10 vezes superior à recomendada. Dessa forma, infere-se que doses muito altas do contaminante utilizado não terá um impacto significativo no ensaio.

No dia do ensaio o solo foi pesado em porções de 270g para o controle e 180g para cada concentração. Em seguida as porções foram umidificadas e contaminadas, exceto controle que foi adicionado apenas água destilada. Depois do solo contaminado, ele foi transferido para recipientes com 30g de solo cada e colocou-se 20 indivíduos com idade sincronizada em cada recipiente. Ao longo do ensaio os organismos foram alimentados uma vez por semana e foi feio o controle da umidade (ISO 11267/2014).

Figura 1 – Preparação para o ensaio.



Fonte: autor, 2024.

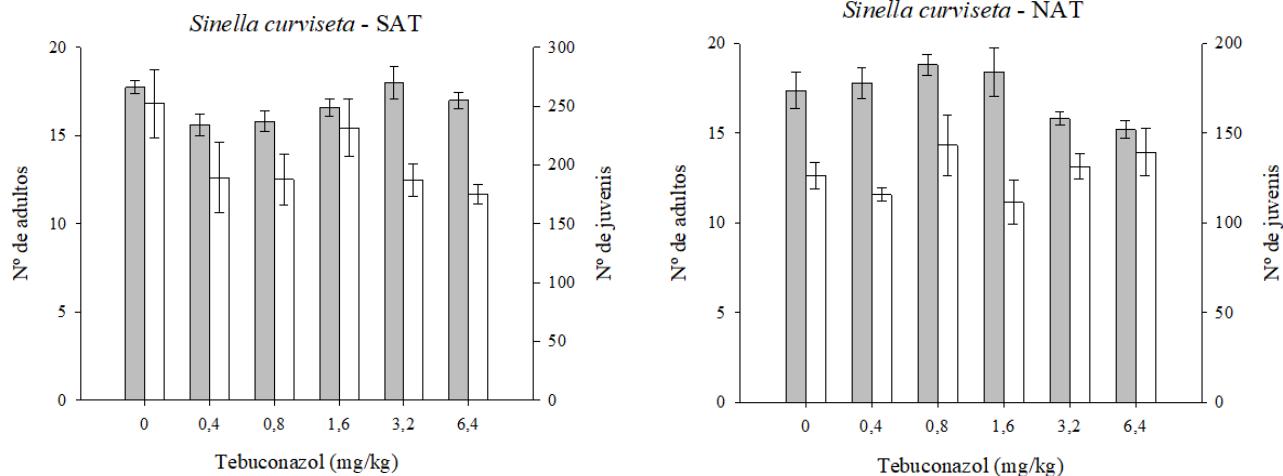
Ao final do ensaio (28 dias)[UC1][UC2][ÍT3], o conteúdo dos recipientes foi transferido para recipientes mais largos e adicionado água, o que fez com que os colêmbolos flutuassem (método de flotação). Além disso, foi adicionada tinta preta nos ensaios com *S. curviseta* para colorir a água e criar maior contraste facilitando a visualização dos colêmbolos (OROSKI, 2022). Em seguida foi realizada uma fotografia de vista superior, cuja imagem foi identificada com o número da réplica e da concentração testada. Posteriormente, com o auxílio do software computacional Image J versão 1.43v foi realizada a contagem dos colêmbolos juvenis sobreviventes ao ensaio. Os valores encontrados foram transferidos para planilha de cálculo juntamente com sua identificação.

## DADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos a partir dos ensaios de toxicidade foram tratados através de ferramentas computacionais como Excel e SigmaPlot. Com isso foi possível estabelecer a relação entre o contaminante e os indivíduos, além da concentração de efeito (CE20) em ambos os ensaios.

Figura 2 – Número médio ( $\pm$  erro padrão) de adultos (barras cinzas)

e juvenis (barras brancas) de colêmbolos *S. curviseta* após 28 dias de exposição ao tebuconazol em SAT (Solo Artificial Tropical) e NAT (Solo Natural Tropical).



Fonte: autor, 2024.

Fonte: autor, 2024.

Não houve diferença significativa. Logo não foi possível estimar a Concentração de Efeito Observável (CEO) e a Concentração de Efeito Não Observável (CENO), mas foi possível obter a Concentração de efeito (CE20) por métodos estatísticos.

Tabela 1 – Estimativa de toxicidade para reprodução.

	CENO	CEO	CE20	CE50
SAT	n.d.	n.d.	208,21	n.d.
NAT	n.d.	n.d.	128,71	n.d.

Fonte: Autor, 2024.

Legenda: CENO = maior concentração que não causa efeito no organismo teste; CEO = menor concentração que causa efeito significativo; CE20 = concentração que causa 10% de efeito na reprodução. CE50: concentração que causa 50% de efeito na reprodução, n.d. (não detectado).

A dose de efeito encontrada é uma dose muito alta, que corresponde a mais de 20 vezes a dose recomendada, logo estimar os efeitos do uso contínuo do tebuconazol ainda é um obstáculo a ser estudado.

Em todos os ensaios, as espécies alternativas apresentaram taxa

de adultos sobreviventes > 75% ao final do ensaio e número médio de juvenis  $\geq 90$  nos tratamentos controles. Independente do ensaio o contaminante não teve efeito significativo, por outro lado o tipo de solo parece ter sido um fator determinante na reprodução, uma vez que o SAT teve maior número de juvenis.

Durante os ensaios também foi feito o acompanhamento do pH, apesar do solo NAT apresentar uma acidez maior, ele se manteve constante ao longo do ensaio. Logo os efeitos observados nos ensaios se devem aos efeitos do tebuconazol ou de agentes do solo, levando em consideração que o controle de umidade e pH se manteve constante ao longo de todo ensaio.

De acordo com Qu et al., (2014) e Mandal e Singh (2013), teores elevados de matéria orgânica (MO) e argila aumentam a capacidade de adsorção de agrotóxicos como o fipronil, devido à alta adesão do fipronil às partículas de argila, além do alto teor de carbono orgânico e do baixo pH que reduzem a toxicidade no solo, o que pode estar associado aos resultados encontrados com tebuconazol nos tratamentos com solo natural. Apesar de a influência do tipo de solo na toxicidade de agrotóxicos para organismos terrestres ser evidente, há poucos estudos ecotoxicológicos sobre as propriedades do solo no Brasil (ZORTÉA et al., 2018a; 2018b; BANDEIRA et al., 2019).

Outros autores (FERREIRA et al., 2022; CHELINHO et al., 2014) notaram uma diferença de sensibilidade entre espécies de colêmbolos na literatura científica. Eles sugerem que *S. curviseta* pode ser menos sensível ao ingrediente ativo (fipronil) devido à sua característica epedáfica, que resulta em baixa permeabilidade cuticular e menor contato com os poros do solo e, consequentemente, com as moléculas do ingrediente ativo, em comparação com a espécie *P. minuta*, que é uma espécie hemiedáfica (BAHRNDORFF et al., 2009). Estudos mostram que a espécie *Proisotoma minuta* é mais sensível ao inseticida fipronil em comparação com a espécie *Sinella curviseta*. Essa diferença foi observada com uma toxicidade do ingrediente ativo sendo 38,19 vezes

maior para *P. minuta* em Latossolo, 14,65 vezes maior em SAT e 8,78 vezes maior em Neossolo.

Estudos revelaram diversos efeitos adversos do tebuconazol na sobrevivência, desenvolvimento e crescimento das minhocas. No entanto, é importante destacar que esses efeitos negativos foram observados apenas em concentrações superiores à taxa de aplicação recomendada e, portanto, não se espera que ocorram em condições naturais. Descobertas semelhantes foram relatadas por Costa et al., que, ao investigar os efeitos do tebuconazol em concentrações relevantes para o campo em *Eisenia fetida*, não encontraram efeitos negativos. Embora pesquisas confirmem a segurança do tebuconazol quando utilizado adequadamente, deve-se ter cautela quanto à possibilidade de efeitos cumulativos com outros poluentes comuns em solos agrícolas, bem como potenciais interações com estressores repetidos e múltiplos no ambiente, especialmente considerando as mudanças climáticas em curso.

Durante a contagem do teste, observou-se que o número de juvenis no SAT foi superior ao encontrado no SN, o que pode indicar uma maior atividade microbiana, apesar de o SN apresentar maior potencial para tal. O aumento da atividade respiratória, mesmo com a mesma quantidade de biomassa microbiana, sugere que os microrganismos estão gastando mais energia para se manter. Isso pode ser um sinal de menor eficiência metabólica, provavelmente causado por um efeito inibitório ou estressante do tebuconazol, que impacta negativamente a biomassa microbiana (GÓMEZ et al., 2009).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo ressaltam a importância de compreender e utilizar diferentes tipos de solos naturais, uma vez que a resposta do solo aos organismos é, muitas vezes, desconhecida. Além disso, a realização de ensaios ecotoxicológicos com espécies de colêmbolos sexuados, que possuem sensibilidades distintas, amplia os parâmetros de análise dos efeitos dos agrotóxicos. Esse conhecimento

é fundamental, pois os impactos nos serviços ecossistêmicos podem variar de acordo com o tipo de solo.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR ISO-17512/2011. Soil quality — Avoidance test for determining the quality of soils and effects of chemicals on behaviour — Part 2: Test with collembolans (*Folsomia candida*). Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ALVES, S. P. L. Marketing verde e os desafios na preservação do Cerrado. Dissertação (Mestrado). PUC-Goiás, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resolução: ABNT NBR ISO 17512/2011. 2011.
- BAHRNDORFF, S. et al. The rapid cold hardening response of Collembola is influenced by thermal variability of the habitat. *Functional Ecology*, v. 23, n. 2, p. 340-347, 2009.
- BANDEIRA, F. O. et al. Toxicidade de imidacloprid para a minhoca *Eisenia andrei* e Collembola *Folsomia candida* em três solos tropicais contrastantes. *Jornal de Solos e Sedimentos*. 2019.
- BELLINI, B. C.; ZEPPELINI, D. Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 48, p. 587-588, 2009.
- BUCH, A. C.; NIEMEYER, J. C.; CORREIA, M. E. F.; SILVA-FILHO, E. V. Ecotoxicity of mercury to *Folsomia candida* and *Proisotoma minuta* (Collembola: Isotomidae) in tropical soils: Baseline for ecological risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, New York, v. 127, p. 22-29, 2016.
- CASTAÑO-MENESES, G.; PALACIOS-VARGAS, J. G.; CUTZ-POOL, L. Q. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, Série Zoologia, v. 75, p. 135-142, 2004.
- CHELINHO, S. et al. Soil microarthropod community testing: A new approach to increase the ecological relevance of effect data for pesticide risk assessment. *Applied Soil Ecology*, v. 83, p. 200- 209, 2014.
- CORREIA, M. E. F. Relações entre a diversidade da fauna de solo e o processo de decomposição e seus reflexos sobre a estabilidade dos ecossistemas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. (Documento 156).
- COSTA, PA; GUILHERMINO, L.; LASKOWSKI, R. Efeitos de formulações de pesticidas contendo cipermetrina ou tebuconazol, individualmente e em mistura, sobre a minhoca *Eisenia fetida*. *Appl. Soil Ecol.* 2024, 193, 105139.
- EEVA, T.; PENTTINEN, R. Leg deformities of oribatid mites as an indicator of environmental pollution. *Science of the Total Environment*, Elsevier, 2009.
- FERREIRA, Patrícia et al. Representativeness of *Folsomia Candida* to Assess Toxicity of a New Generation Insecticide in Different Temperature Scenarios. *Science of The Total Environment*, v. 837, p. 155712, 2022.
- GARCIA, M. V. B. Effects of pesticides on soil fauna: development of ecotoxicological test methods for tropical regions. Cuvillier Verlag, 2004.

- GISIN, H. *Collembola fauna Europas*. Geneva, Switzerland: Museum d'histoire naturelle, 1960. GÓMEZ, E., FERRERAS, L., LOVOTTI, L., FERNANDEZ, E., 2009. Impacto do glifosato na biomassa microbiana e atividade metabólica em um argiudol vértico da Argentina.
- GUARDA, P. M.; LUZ, J. M. R.; GUARDA, E. A.; CAVALCANTE, J. E. Agricultura no Cerrado e sua influência sobre a diversidade fúngica do solo. In: Clamilson Antonio da Silva et al. (Org.). *Tópicos Especiais em Biotecnologia e Biodiversidade*. Curitiba: CVR, 2019. v. IV, p. 11-30. HOPKIN, S. P. *Biology of the springtails: Insecta Collembola*. Oxford: OUP, 1997.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11267: Soil Quality - Inhibition of Reproduction of Collembola (*Folsomia candida*) by Soil Pollutants. Genebra, Suíça: ISO, 2014.
- ISO. Soil Quality Effects of Pollutants on Enchytraeidae (Enchytraeus sp.)—Determination of Effects on Reproduction. Geneva: International Organization for Standardization, 2004. (ISO 16387).
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.
- KOVAČEVIĆ, M.; STJEPANOVIĆ, N.; ZELIĆ, L.; LONČARIĆ, Ž. Effects of Tebuconazole on the Earthworm *Dendrobaena veneta*: Full Life Cycle Approach. *Agriculture*, v. 13, n. 11, p. 2119, 2023.
- LI, Y. B.; DONG, F. S.; LIU, X. G.; XU, J.; HAN, Y. T.; ZHENG, Y. Q. Enantioselectivity in tebuconazole and myclobutanil non-target toxicity and degradation in soils. *Chemosphere*, v. 122, p. 145-153, 2015.
- LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em Debate*, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.
- MANDAL K.; SINGH B. Persistence of fipronil and its metabolites in sandy loam and clay loam soils under laboratory conditions. *Chemosphere*. 91; 1596-1603, 2013.
- MUELLER, C. C.; MARTHA, G. B. JR. A agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente do Cerrado. In: *Simpósio Nacional Cerrado, 9. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS*, 2. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008.
- MUÑOZ-LEOZ, B.; RUIZ-ROMERA, E.; ANTIGÜEDAD, I.; GARBISU, C. Tebuconazole application decreases soil microbial biomass and activity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 43, p. 2176-2183, 2011.
- OLIVEIRA, A. M. et al. Controle biológico de pragas em cultivos comerciais como alternativa ao uso de agrotóxicos. *Revista Verde (Mossoró - RN - Brasil)*, v. 1, n. 2, p. 9, 2006.
- OROSKI, Sabrina. Avaliação ecotoxicológica de um inseticida à base de fipronil para colêmbolos das espécies *Proisotoma minuta* e *Sinella curviseta* em solos tropicais. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2022.

QU H. et al. Enantioselective toxicity, bioaccumulation and degradation of the chiral insecticide fipronil in earthworms (*Eisenia fetida*). *Sci. Total Environ.* 485-486; 415-420, 2014.

SOUSA, A. H. et al. Bioactivity of vegetal powders against *Callosobruchus Maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) in caupi bean and seed physiological analysis. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, UEP, v. 5, n. 2, 2005.

TOCANTINS, GOVERNO DO ESTADO DO. Zoneamento agroecológico do estado do Tocantins. 2018. Disponível em: <<http://www.zaeto.cnpm.embrapa.br/pedo.html>>. Acessado em: 26 mar. 2023.

TURBÉ, A. et al. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policymakers. BiolIntelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment), 2010.

ZHANG, Feng; et al. A high-quality draft genome assembly of *Sinella curviseta*: A soil model organism (Collembola). *Genome Biology and Evolution*, v. 11, n. 2, p. 521-530, 2019.

ZORTÉA, T.; REIS, T. R.; SERAFINI, S.; SOUSA, J. P.; SILVA, A. S.; BARETTA, D. Ecotoxicological effect of fipronil and its metabolites on *Folsomia candida* in tropical soils. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 62, p. 203-209, 2018a.

ZORTÉA, T.; SILVA, A. S.; REIS, T. R.; SEGAT, J. C.; PAULINO, A. T.; SOUSA, J. P.; BARETTA, D. Ecotoxicological effects of fipronil, neem cake and neem extract in edaphic organisms from tropical soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 166, p. 207-214, 2018b.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

## Capítulo 11

# MISTURA DE PARTÍCULAS DE DIVERSOS MEIOS PARTICULADOS ORGÂNICOS EM UM TAMBOR ROTATIVO

Dante Ijarma Martins de Moraes;  
Lina María Grajales Agudelo;

## RESUMO

O presente projeto dá suporte ao desenvolvimento do biorreator de tambor rotativo ao ter como objetivo geral analisar a mistura de diversos meios particulados compostos por resíduos agroindustriais da região Centro-Oeste do Brasil, os quais simularão os substratos utilizados na produção de lipases por FES em um tambor rotativo. As partículas analisadas foram farelo de soja, bagaço de coco babaçu, palha de arroz, quirera de arroz e quirera de milho. O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas: construção do tambor rotativo, avaliação das características físico-químicas dos meios particulados, determinação dos traçadores e desenvolvimento da técnica de traçadores coloridos. Os resultados mostraram que dentre os traçadores testados (azul de metileno e corante para roupas), adequou-se apenas ao farelo de soja, o que demonstra a necessidade da utilização de uma gama maior de traçadores, para encontrar resultados satisfatórios para fixação e ausência de difusão em todos os substratos.

Palavras-chaves: Fermentação em estado sólido, agroenergia, biorreator, *M. anisopliae*

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia de Alimentos, Pivic, Universidade Federal do Tocantins, dante.martins@mail.uft.edu.br. <sup>2</sup>Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, Professor Engenharia de Alimentos e PPG em Agroenergia Digital, Universidade Federal do Tocantins, grajales@mail.uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

As matérias-primas lignocelulósicas são as fontes renováveis mais abundantes encontradas na natureza, sendo boa parte compreendida pelos materiais provenientes do agronegócio. O Brasil apresenta uma economia fortemente ligada ao agronegócio, o que gera um grande volume de resíduos, podendo estes apresentarem sérios problemas com a destinação levando a graves problemas ambientais e energéticos (SOUZA DOS SANTOS et al., 2018). Tendo isso em vista diversas pesquisas são desenvolvidas buscando aplicações industriais capazes de agregar valor a estes resíduos, dentre as aplicações com maior potencial tecnológico está o uso destes resíduos orgânicos como fonte alternativa de substratos para produção de enzimas de alto valor agregado, através do processo de fermentação em estado sólido (FES) (PEREIRA, 2014).

A fermentação em estado sólido é definida como o crescimento de microrganismos em substrato sólido umedecido, no qual a umidade presente é suficiente para manter o crescimento e o metabolismo do microrganismo, mas com ausência de água livre na fase contínua (RAHARDJO; TRAMPER; RINZEMA, 2006). Essa técnica permite utilizar resíduos do agronegócio como fonte de substrato. Farelos, cascas, bagaços e outros resíduos são utilizados. Em função de serem recursos renováveis e apresentarem uma grande disponibilidade no mercado nacional, são utilizados como fonte de carbono e energia e como suporte físico para o crescimento microbiano (ADOLFO SAAVEDRA PINTO et al., 2005).

De forma geral, em FES dispõe-se de duas arquiteturas básicas de fermentadores, os de leito fixo e os de leito móvel. Os de leito fixo são mais simples de construir e operar, a remoção do calor metabólico é feita por meio do ar que escoa entre as partículas e a parede do biorreator. Os de leito móvel são mecanicamente mais complexos e operacionalmente mais trabalhosos, porém dão maior flexibilidade na remoção do calor gerado pelo microrganismo, pois permite que água seja aspergida sobre o sólido ao longo do processo, resfriando o meio,

e inclusive a própria agitação do meio particulado ajuda ao arrefecimento (DINIZ DA SILVA et al., 2022; GRAJALES et al., 2012).

Tendo em vista a grande disponibilidade de resíduos orgânicos proveniente do agronegócio na região norte, o grupo de pesquisa em Engenharia de biorreatores da UFT-Campus de Palmas vem trabalhando no desenvolvimento de um biorreator de tambor rotativo que permita a intensificação do processo vinculando várias etapas de *upstream* e a fermentação em si, para a produção de lipases a partir de resíduos agroindustriais como coco babaçu, farelo de trigo, quirera de milho, farelo de soja e quirera de arroz.

Assim, o presente projeto dá suporte ao desenvolvimento do biorreator de tambor rotativo ao ter como objetivo geral analisar a mistura de diversos meios particulados compostos por resíduos agroindustriais da região Centro-Oeste do Brasil, os quais simularão os substratos utilizados na produção de lipases por FES em um tambor rotativo.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Tambor Rotativo

Um protótipo de tambor rotativo foi construído em um frasco de vidro de 3L e empregado nos experimentos de mistura de partículas. O equipamento contou com uma estrutura em PVC para suporte. A velocidade de rotação foi controlada e realizada de forma manual.

### Meios particulados

Selecionaram-se farelo de soja, casca de arroz, bagaço do coco babaçu, farelo de trigo e quirera de milho e arroz. Todos foram adquiridos de cooperativas e mercados locais. Os substratos foram todos armazenados em *freezer* doméstico à temperatura de -18°C.

### Caracterização:

#### Granulometria

A granulometria dos substratos foi realizada por peneiramento, utilizando-se um conjunto de 4 peneiras de 14, 20, 24 e 28 *mesh* (VAURIS et al., 2022). Amostras de 40g do substrato foram pesadas em balança analítica e adicionadas à peneira vibratória separadora durante 5 minutos, toda a análise foi realizada em duplicata. As partículas retidas em cada peneira foram pesadas e os resultados expressos em percentuais em relação ao peso inicial de cada amostra.

#### Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada em provetas graduadas de 50 ml. 5g de cada amostra secas foram agitados verticalmente até não ocorrer alteração nos volumes. As densidades aparentes foram determinadas dividindo-se a massa da amostra pelo seu volume total. A análise foi realizada em triplicata e expressas em g/cm<sup>3</sup> (OHARA et al., 2015).

#### Capacidade de absorção de água

Para determinar a capacidade de absorção de água, 1 g da amostra foi misturada com 10 ml de água destilada em um tubo de centrífuga de 15 ml e centrifugada a 2263 x g por 30 minutos (DINIZ et al. 1997; OLUKOMALYAET et., al. 2020). A capacidade de absorção de água foi calculada como o aumento percentual no peso da amostra, sendo o teste realizado em triplicata.

#### Análise de umidade

As umidades dos substratos foram determinadas pelo método da estufa, através do aquecimento direto da amostra à 105°C até peso constante (FREITAS et al., 2023). O resultado da umidade determinada

foi expresso em porcentagem na TABELA 1.

#### Padronização da umidade do coco babaçu e farelo de soja

Para simular as condições de cultivo do fungo, todos os mios particulados foram padronizados com 40% de umidade (REZENDE, 2010) utilizando água destilada e traçador. Para calcular a quantidade necessária de água foi utilizada a Equação 1.

$$M_{água} = \frac{U - U_0 \times M_{substrato}}{100} \quad (1)$$

Onde:

$M_{água}$  = Massa de Água destilada ou traçador (g)

$M_{substrato}$  = Massa de substrato (g)

$U_0$  = Umidade inicial (%)

$U$  = Umidade final (%)

Para a análise de traçadores coloridas descrita na próxima seção foram preparados dois tipos de meios particulados, com e sem traçador, ambos com a mesma umidade (40%) , diferenciando entre si apenas a presença do traçador.

#### Pré-tratamento dos meios particulados:

##### Amostras sem traçador

As amostras sem traçador de quirera de arroz e milho foram cozidas por imersão em água a 80°C durante 4 minutos, para simular a operação industrial. Posteriormente, foram deixadas à temperatura ambiente por 2 horas para retirar o excesso de umidade da superfície das partículas. No final, todos os meios particulados atingiram 40% de umidade, umidade de crescimento ótima do fungo (SOUZA et al., 2020).

##### Amostras com traçador

Para preparar as amostras com traçador repetiu-se o mesmo

procedimento, mas cozinhando- as na solução com traçador colorido. O resíduo do coco babaçu e o farelo de soja foram preparados adicionando água destilada e solução com traçador até atingir 40% de umidade. Para determinar a quantidade de água e traçador adicionada ao substrato utilizou-se a Equação. 1.

#### Técnica de traçadores coloridos:

Foi avaliada a absorção de diferentes tipos de corantes (tinta de tecido vermelha e azul de metíleno) para cada resíduo, avaliando a aderência e difusão, empregando-se a metodologia desenvolvida por (GRAJALES et al., 2012). Para isso foram preparadas duas soluções, uma de azul de metíleno a 2% simulando o que foi realizado por (GRAJALES et al., 2012), também foi preparada uma solução a 7% com a tinta de tecido. As soluções foram utilizadas na padronização da umidade, obtendo dessa forma um substrato com umidade.

#### Mistura radial de partículas

Para avaliar a mistura radial das partículas, o tambor foi carregado com os meios particulados com e sem traçador, seguindo a proporção de 70% e 30% respectivamente. As partículas foram colocadas de lado a lado, dispostas longitudinalmente (GRAJALES, 2014). Posteriormente, foram submetidas a rotação de 4 RPM. Com iluminação controlada, o leito de partículas foi filmado com uma câmera do celular, até atingir a homogeneidade das partículas. Foram gerados vídeos que permitiram capturar imagens do tambor após cada giro. O processo foi repetido 3 vezes para cada um dos substratos.

#### DADOS E DISCUSSÃO

##### Tambor rotativo

Na Figura 1 é apresentada uma fotografia do tambor de vidro suportado na base de PVC. Como pode ser observado na Figura 2, foi adaptado um pequeno estúdio de fotografia a partir de caixa de papelão e cartolina. Para controlar a iluminação durante as gravações da mistura das partículas foi utilizada uma Ring Light com 27 cm de diâmetro.



Figura 1 – Tambor rotativo de vidro e suporte de PVC.



Figura 2 – Estúdio fotográfico de bancada

Meios particulados

Padronização da umidade

Os resultados das umidades iniciais foram apresentados em percentual de umidade de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Percentual de umidade dos substratos secos

Substrato	Umida de (%)
Coco babaçu	2,02
Milho	4,17
Soja	2,21
Arroz	6,16
Palha de arroz	8,01

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

#### Técnica de traçadores coloridos

Para avaliar o melhor traçador observou-se visualmente, se através da parede do tambor, houve difusão do corante através da água presente no material sólido aderido à parede do tambor. Adicionalmente, cada meio foi fotografado com diferentes tipos de traçadores, e comparados para determinação da melhor aderência ao traçador, conforme apresentado na Figura 3.

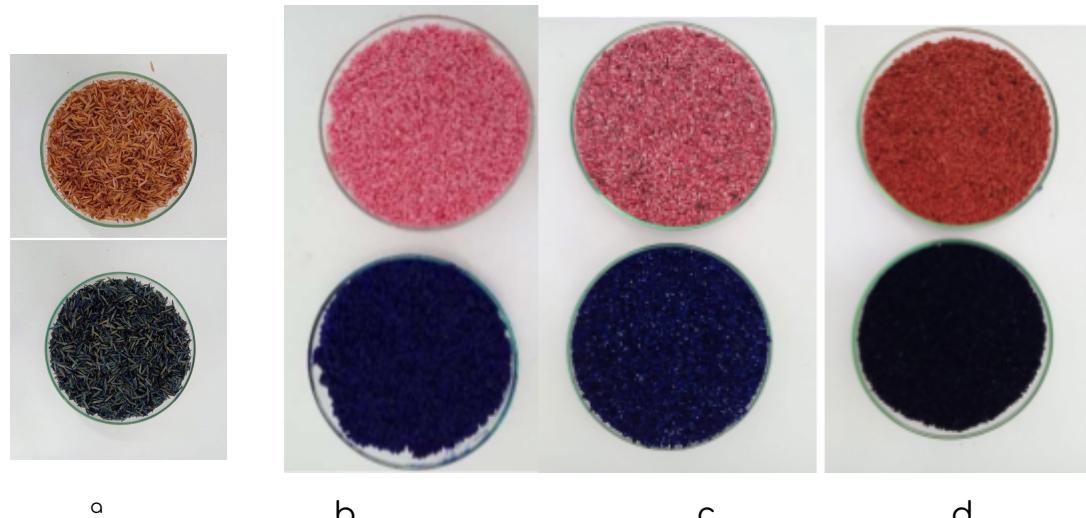


Figura 3 – Resíduos tingidos com azul de metileno e tinta para tecido a) Palha de arroz; b) Quirera de Arroz; c) Bagaço de coco babaçu; d) Farelo de soja.

Através da avaliação visual o foi elaborada uma tabela

classificando a fixação dos traçadores para cada substrato, conforme apresentado na Tabela 2. A classificação foi definida como satisfatória para os substratos nos quais não foi possível observar partículas não tingidas pelo traçador, e insatisfatória para os substratos que apresentaram partículas que não foram tingidas. Visualmente foi possível notar que cada substrato interagiu de maneira diferente com os traçadores, apresentando um nível de fixação diferente dependendo da estrutura.

Tabela 2 – Classificação da fixação dos traçadores.

Substrato	Azul de metileno	Tinta de tecido
Palha de arroz	Insatisfatório	Insatisfatório
Farelo de soja	Satisfatório	Satisfatório
Bagaço do coco babaçu	Insatisfatório	Insatisfatório
Quirera de arroz	Satisfatório	Insatisfatório
Quirera de milho	Satisfatório	Insatisfatório

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

De maneira geral azul de metileno se sobressaiu como melhor traçador, sendo satisfatório para farelo de soja, quirera de arroz e quirera de milho, o que está em conformidade com o que foi determinado por (HONORATO, 2015), devido à alta capacidade absorptiva desses resíduos agroindustriais. A tinta de tecido se demonstrou satisfatória apenas para o farelo de soja. Dentre os traçadores utilizados, nenhum foi satisfatório para a palha de arroz e o bagaço do coco babaçu. Para os substratos que não apresentaram resultado satisfatório para nenhum dos traçadores devem ser submetidos a novos testes utilizando outros tipos de traçadores.

### Difusão do traçador

O movimento da água do interior para a periferia do grão ocorre

por mecanismos distintos. A difusão ocorre nos sólidos de estrutura fina, capilares e poros (CORRÊA, 2006). Este mecanismo permite que o substrato com traçador transfira parte do corante para o substrato sem traçador, o que afeta de maneira negativa na precisão da avaliação da mistura das partículas.

Para determinar a presença de difusão os substratos com traçadores e sem foram adicionados ao tambor nas respectivas concentrações, 30% e 70%, então foram girados a 4 RPM por 2 minutos para avaliar visualmente se haveria traçador na parede do tambor indicando difusão.



Figura 6 – Análise de difusão.

Foram realizados testes para todos os meios particulados que apresentaram resultado satisfatório para os traçadores mostrados na Tabela 2. Os resultados foram apresentados na Tabela 3, com status de ausente ou presente para visualização de difusão no tambor rotativo.

Tabela 3 – Determinação da presença de difusão

Substrato	Difusão
Palha de arroz	-
Farelo de soja	Ausente
Bagaço do coco babaçu	-

Quirera de arroz	Presente
Quirera de milho	Presente

Autor: Elaborado pelo autor, 2024

Para a quirera de arroz e milho houve difusão evidente na parede do tambor rotativo, o que indica a impossibilidade do uso do azul de metileno como traçador para esses substratos, visto que não é possível realizar a análise da movimentação das partículas com difusão no meio.

Não foi realizada a avaliação da difusão para o bagaço de coco babaçu e palha de arroz, visto que nenhum traçador utilizado nesta pesquisa foi satisfatório no tingimento de 100 porcento das partículas do substrato.

Portanto o único substrato que apresentou todas as características necessárias, para ser utilizado na análise da movimentação das partículas foi o farelo de soja. O farelo de soja apresentou uma fixação excelente do traçador e ausência de difusão.

Experimentos adicionais deverão ser realizados para determinar o número de rotações para obter os meios homogêneos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se propôs a avaliar a mistura de diversos resíduos agroindustriais da região Centro-Oeste do Brasil em um tambor rotativo, através do desenvolvimento de uma técnica de traçadores coloridos. O trabalho foi realizado em quatro partes, quais são: Avaliação das características físico-químicas dos substratos, construção do tambor rotativo, determinação dos traçadores e desenvolvimento da técnica de traçadores coloridos.

Com base nos resultados obtidos na determinação dos traçadores não foi possível seguir para a análise da mistura das partículas, visto que dentre os traçadores testados, adequou-se apenas ao farelo de soja, o que demonstra a necessidade da utilização de uma

gama maior de traçadores, para encontrar resultados satisfatórios para fixação e ausência de difusão em todos os substratos.

## REFERÊNCIAS

- ARORA, Sidharth; RANI, Richa; GHOSH, Sanjoy. Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*, v. 269, p. 16- 34, 2018. Disponível em:[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816561830018X?casa\\_token=F85lnBXbMq0AAAAA:5TeAlGi6s0EulFrRB1tlgYG0UhgrrTxcGAQ2lhBmliq4jr4cxjWzBQ9WHjd4lrg- A12iURw bwPg](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016816561830018X?casa_token=F85lnBXbMq0AAAAA:5TeAlGi6s0EulFrRB1tlgYG0UhgrrTxcGAQ2lhBmliq4jr4cxjWzBQ9WHjd4lrg-A12iURw bwPg). Acesso em: 16 de agosto de 2024.
- BAKKER, C. M. C. N. Avaliação Da Produção E Aplicação De Enzimas Utilizando Resíduo Farelo De Trigo Como Substrato Por Fermentação Em Estado Sólido. Natal: UFRN, abr. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/23648>. Acesso em: 23 de maio de 2024.
- CERDA, Alejandra et al. Innovative production of bioproducts from organic waste through solid- state fermentation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 3, p. 63, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2019.00063/full> Acesso em: 19 de maio de 2024.
- CORRÊA, Paulo César et al. Determinação do coeficiente de difusão líquida dos grãos de feijão. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 8, n. 2, p. 117-126, 2006. Disponível em: Acesso em: [https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Botelho/publication/276459615\\_Determinacao\\_do\\_coeficiente\\_de\\_difusao\\_liquida\\_dos\\_graos\\_de\\_feijao/links/577a668e08ae355e74f0685e/Determinacao-do-coeficiente-de-difusao-liquida-dos-graos-de-feijao.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Botelho/publication/276459615_Determinacao_do_coeficiente_de_difusao_liquida_dos_graos_de_feijao/links/577a668e08ae355e74f0685e/Determinacao-do-coeficiente-de-difusao-liquida-dos-graos-de-feijao.pdf). 29 de agosto de 2024.
- DE OLIVEIRA, Nayra Morgana Lima et al. Lipases microbianas: Bioprocessos e aplicações industriais. *Processos Químicos e Biotecnológicos* Volume 5. Belo Horizonte: Poisson,2020. p. 33-45.

Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/341939650\\_Prospecção\\_da\\_fitoquímica\\_das\\_folhas\\_de\\_Paricá\\_Schizolobium\\_Amarizonicum\\_Huber\\_Ex-Ducke](https://www.researchgate.net/publication/341939650_Prospecção_da_fitoquímica_das_folhas_de_Paricá_Schizolobium_Amarizonicum_Huber_Ex-Ducke). Acesso em: 23 de maio de 2024.

DE SOUSA FERRAZ, Fabrielle et al. LIPASE EXTRACELULAR DO FUNGO *Metarhizium anisopliae* PRODUZIDA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAS. 2020 by Atena Editora Copyright©, p. 99, 2020. Disponível em:

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/79098755/3091-libre.pdf?1642638745=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNanoparticulas\\_De\\_Fe\\_e\\_Py\\_Como\\_Catalisad.pdf&Expires=1726332](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/79098755/3091-libre.pdf?1642638745=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNanoparticulas_De_Fe_e_Py_Como_Catalisad.pdf&Expires=1726332). Acesso em: 28 de agosto de 2024.

DINIZ DA SILVA, M. P. et al. A two-phase model for simulation of water transfer during lipase production by solid-state cultivation in a tray bioreactor using babassu residues as substrate. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 177, n. May, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270122001933>. Acesso em: 29 de maio de 2024.

DINIZ, F. M.; MARTIN, A. M. Effects of the extent of enzymatic hydrolysis on functional properties of shark protein hydrolysate. *LWT*, v. 30, n. 3, 1997. Disponível

em: [https://www.academia.edu/27496302/Effects\\_of\\_the\\_Extent\\_of\\_Ezymatic\\_Hydrolysis\\_on\\_Functional\\_Properties\\_of\\_Shark\\_Protein\\_Hydrolysate](https://www.academia.edu/27496302/Effects_of_the_Extent_of_Ezymatic_Hydrolysis_on_Functional_Properties_of_Shark_Protein_Hydrolysate). Acesso em: 28 de maio de 2024.

FARINAS, C. S.; PIROTA, R. D. P. B.; NETO, V. B. Desenvolvimento em fermentação em estado sólido para produção de enzimas de interesse agroindustrial. Em: *Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura*. [s.l: s.n.]. p. 211-241. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/m/1031069/1/cap7.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2024.

FREITAS, Rutinéia et al. ANÁLISE DE CINZAS, UMIDADE E PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DAS FARINHAS DE MILHO, SORGO E SOJA. *Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente*, v. 4, n. 2, 2023. Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/alimentos/article/view/2631>. Acesso em: 28 de agosto de 2024.

GRAJALES, L. M. et al. Mixing and motion of rice particles in a rotating drum. *Powder Technology*, v. 222, 2012.

GRAJALES AGUDELO, Lina María. Desenvolvimento de um biorreator rotativo para produção de enzimas celulolíticas por fermentação em estado sólido. 2014.

HONORATO, Andressa C. et al. Biosorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 7, p. 705-710, 2015.4. Disponível em: Acesso em:<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/F5VhQx5cH8GHrQDMZTsznNM/?language=pt>. Acesso em: 25 de agosto de 2024.

KANAGASABAI, Manikandan; MARUTHAI, Karuppaiyo; THANGAVELU, Viruthagiri. Simultaneous saccharification and fermentation and factors influencing ethanol production in SSF process. *Alcohol fuels-Current technologies and future prospect*, p. 1-15, 2019. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt&BR&lr=&id=5mX8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA81&dq=Simultaneous+Saccharification+and+Fermentation+and+Factors+Influencing+Ethanol+Production+in+SSF+Process&ots=zfnhyhauMCI&sig=abOCQn6jQod1sZ8atFTrLoB7CE8&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Simultaneous%20Saccharification%20and%20Fermentation%20and%20Factors%20Influencing%20Ethanol%20Production%20in%20SSF%20Process&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt&BR&lr=&id=5mX8DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA81&dq=Simultaneous+Saccharification+and+Fermentation+and+Factors+Influencing+Ethanol+Production+in+SSF+Process&ots=zfnhyhauMCI&sig=abOCQn6jQod1sZ8atFTrLoB7CE8&redir_esc=y#v=onepage&q=Simultaneous%20Saccharification%20and%20Fermentation%20and%20Factors%20Influencing%20Ethanol%20Production%20in%20SSF%20Process&f=false). Acesso em: 23 de maio de 2024.

KRUGER, C. Síntese Enzimática De Éster Do Biodiesel A Partir De Lipases Fúngicas De *Penicillium Sumatrense* Produzidas Por Fermentação Em Estado Sólido. Paraná: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, set. 2017. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/3558>. Acesso em: 29 de maio de 2024.

OBI, Clifford Nkemnaso. Solid state fermentation: Substrates uses and applications in biomass and metabolites production-a review. **South Asian Research Journal of Biology and Applied Biosciences**, v. 1, n. 1, p. 20-29, 2019. Disponível em: [https://www.sarpublishing.com/media/articles/SARJBAB\\_11\\_20-29.pdf](https://www.sarpublishing.com/media/articles/SARJBAB_11_20-29.pdf). Acesso em: 19 de maio de 2024.

OIZA, N; MORAL-VICO, J; SÁNCHEZ, A; OVIEDO E, R; GEA T. Solid-State Fermentation from Organic Wastes: A New Generation of Bioproducts. **Revista Processes**, Barcelona, v. 10, 2675. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Oviedo-Ocana/publication/366209479\\_Solid\\_State\\_Fermentation\\_from\\_Organic\\_Wastes\\_A\\_New\\_Generation\\_of\\_Bioproducts/links/6397dd38e42faa7e75bb6225/Solid-State-Fermentation-from-Organic-Wastes-ANew-Generation-of-Bioproducts.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Oviedo-Ocana/publication/366209479_Solid_State_Fermentation_from_Organic_Wastes_A_New_Generation_of_Bioproducts/links/6397dd38e42faa7e75bb6225/Solid-State-Fermentation-from-Organic-Wastes-ANew-Generation-of-Bioproducts.pdf). Acesso em: 19 de maio de 2024.

OLIVEIRA, I.; ARAÚJO, J. **Apostila Maco I Agregados E Aglomerantes**. [s.l: s.n.].

PANDEY, Ashok. Solid-state fermentation. **Biochemical engineering journal**, v. 13, n. 2-3, p. 81- 84, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X02001213>. Acesso em: 23 de maio de 2024.

PARIS, L. D. **PRODUÇÃO DE ENZIMAS FÚNGICAS POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO DAS SOJAS ORGÂNICA, TRANSGÊNICA E CONVENCIONAL**. Toledo: [s.n.].

Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1881>. Acesso em: 30 de maio de 2024.

RAGHAVARAO, K. S. M. S.; RANGANATHAN, T. V.; KARANTH, N. G. Some engineering

aspects of solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, n. 2-3, p. 127-135, 2003. Disponível em: [https://sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X02001250?casa\\_token=FtM\\_sP-tYkIAAAA:hjdHj1j\\_BY2sXJyxyP9hGpR-fF4bfCm7QZj\\_aIWuawMlvPkclhl9K8WXnsndPquXpg5DX2ndXs](https://sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X02001250?casa_token=FtM_sP-tYkIAAAA:hjdHj1j_BY2sXJyxyP9hGpR-fF4bfCm7QZj_aIWuawMlvPkclhl9K8WXnsndPquXpg5DX2ndXs). Acesso em: 14 de agosto de 2024.

REZENDE, J. M. Influência da qualidade de diferentes tipos de arroz e

inibidores de proteinases no rendimento e na virulência de conídios do fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* (Mestch.) Sorokin (Ascomycota: Hypocreales). (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11146/tde-24022010-095604/en.php> Acesso em: 28 de agosto de 2024.

SALDARRIAGA-HERNÁNDEZ, Sara et al. Biotransformation of lignocellulosic biomass into industrially relevant products with the aid of fungi-derived lignocellulolytic enzymes. *International journal of biological macromolecules*, v. 161, p. 1099-1116, 2020. Disponível em: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813\\_0203\\_34863](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813_0203_34863).

Acesso em: 23 de maio de 2024.

SILVA, JÉSSICA MOREIRA BATISTA DA et al. Produção interfásica por fermentação em estado sólido (FES) em meios suplementados por farelo de trigo. 2018. Disponível em: <https://prpg.ufcg.edu.br/anais/2016/resumos/xiii-cicufcg-4072.pdf>. Acesso em: 28 de maio de 2024.

SOARES DE CASTRO, R. J. et al. Estudo da Produção de Poligalacturonase por Fermentação em Estado Sólido utilizando Torta de Girassol como Substrato. Simpósio Naciona de Bioprocessos, 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/576500/estudo-da-producao-de-poligalacturonase-por-fermentacao-em-estado-solido-utilizando-torta-de-girassol-como-substrato>. Acesso em: 17 de maio de 2024.

SOCCOL, C.; PANDEY, A.; NIGAM, P. Solid-state Fermentation Technology for Bioconversion of Biomass and Agricultural Residues. Em: Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation: Utilisation of Agro-Residues. [s.l.] Springer Netherlands, 2009. p. 1-466. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/226796591\\_Solid-State\\_Fermentation\\_Technology\\_for\\_Bioconversion\\_of\\_Biomass\\_and\\_Agricultural\\_Residues](https://www.researchgate.net/publication/226796591_Solid-State_Fermentation_Technology_for_Bioconversion_of_Biomass_and_Agricultural_Residues). Acesso em: 24 de maio de 2024.

TIWARI, Manish et al. Solid-State Fermentation. *Microbes in the Food*

Industry, p. 355-392, 2023. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119776406.ch9>. Acesso em: 23 de maio de 2024.

WANG, Ziyuan et al. Solid-state fermentation by *Aspergillus niger* and *Lactobacillus plantarum* improved the nutritional and physicochemical properties of wheat bran and whole wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 2024. Disponível em:  
<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijfs.17269>. Acesso em: 28 de agosto de 2024.

ZANIER, Fabiana; MICHELON, Nicola; CANU, Paolo. Design and characterization of a stagnation flow reactor for heterogeneous microkinetic studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 315, p. 67- 82, 2017. Disponível em:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717300281?cas\\_a\\_token=L23RRWqyqIUAAAAAA:ZFUtZZPUOZ6rwDESj6KjSzRDQ-pCfheqm3\\_uC7RqT3yoqhJQQKv1o1PiMjICA9LAhliX0qenDk](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717300281?cas_a_token=L23RRWqyqIUAAAAAA:ZFUtZZPUOZ6rwDESj6KjSzRDQ-pCfheqm3_uC7RqT3yoqhJQQKv1o1PiMjICA9LAhliX0qenDk) .Acesso em: 28 de agosto de 2024.

## Capítulo 12

### Produção de carvão ativado quimicamente com $\text{H}_3\text{PO}_4$ do endocarpo da bocaiúva para remoção de contaminantes

Ana Beatriz Alves Ribeiro<sup>1</sup>  
Jucimara Silva<sup>2</sup>  
Emerson Adriano Guarda<sup>3</sup>  
Patrícia Martins Guarda<sup>4</sup>

#### RESUMO

O fruto da bocaiuva é encontrado principalmente no Cerrado brasileiro e é bastante utilizado pela indústria na elaboração de diversos produtos, que tem vários usos, gerando com isso resíduos do fruto. Este trabalho teve como objetivo a produção de carvão ativado por ativação química do resíduo do endocarpo de bocaiúva, e a sua caracterização, além de estudo da eficiência de adsorção de azul de metileno. A ativação química foi realizada com  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e posteriormente foi realizada a caracterização do carvão ativado, por análise de infravermelho. Foi utilizado um planejamento experimental, utilizando um Delineamento Composto Central (DCC) para avaliar eficiências e condições ótimas de remoção do corante através da superfície de resposta. De acordo com a caracterização do carvão ativado foi possível comprovar a ativação e os resultados do planejamento experimental, mostraram que o carvão ativado do endocarpo da Bocaiúva possui boa capacidade de adsorção na concentração de adsorvente de  $1\text{mg. L}^{-1}$  e tempo de contato 120 minutos, sendo que a quantidade de adsorvato não teve influência na capacidade de adsorção. Com a elaboração do carvão ativado a partir do endocarpo da bocaiúva espera-se valorizar um resíduo de fácil obtenção e baixo custo, produzir um importante subproduto para remoção de compostos em meio aquoso.

Palavras-chave: Carvão ativado; Ácido Fosfórico; bocaiúva.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Alimentos, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, [ribeiro.alves1@mail.uft.edu.br](mailto:ribeiro.alves1@mail.uft.edu.br)

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, [sjucimara96@gmail.com](mailto:sjucimara96@gmail.com)

<sup>3</sup> Doutor em Química Orgânica, Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, [emersonprof@mail.uft.edu.br](mailto:emersonprof@mail.uft.edu.br)

<sup>4</sup> Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia, Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, [patricia.guarda@uft.edu.br](mailto:patricia.guarda@uft.edu.br)

## INTRODUÇÃO

A bocaiúva (*Acrocomia aculeata*), também chamada popularmente como macaúba, coco- baboso, coco-de-espinho ou macajuba, é uma palmeira nativa brasileira da família botânica Palmae e pode ser encontrada em quase todas as regiões do território brasileiro. A palmeira é arborescente, espinhosa, tem mais de 15m de altura e se adapta facilmente ao clima e a diversos tipos de solo. É uma planta perene que dura até cem anos e necessita de pouca água para sua sobrevivência (XAVIER e COSTA, 2021).

O fruto da bocaiúva é esférico, tipo drupa, sendo constituído pela casca fibrosa (epicarpo), polpa oleaginosa (mesocarpo), endocarpo e amêndoas oleaginosa. (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1983). Um estudo de balanço de massas dos frutos da bocaiúva (FAVARO et al. 2018, p. 22) “apresentou valores médios ao longo do armazenamento de 19% de casca, 40% de polpa e 39% de endocarpo, juntamente com a amêndoas” (DUARTE, et al 2021). Dentre estas partes constituintes, o endocarpo, em especial, pode ser convertido em carvão vegetal (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS, 1983).

Com longa história de exploração extrativista no País, o valor econômico desta palmeira está associado à sua elevada capacidade produtiva e à ampla possibilidade de aproveitamento de seu fruto. (DUARTE, et al 2021). Constatou-se que, entre 2008 e 2015, foram registradas 14 patentes relacionadas à bocaiúva, sendo 13 delas registradas no Brasil. Além disso, a tendência de aplicabilidade da bocaiúva nas indústrias cosmética, farmacêutica e energética foi confirmada (XAVIER e COSTA, 2021).

O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados para a remoção de contaminantes de meios aquosos, devido a sua elevada capacidade de captura de moléculas por interação química e à alta taxa de remoção por causa de sua grande área superficial específica (GUO e ROCKSTRAW, 2007). Os métodos de ativação e a natureza do material precursor influenciam na formação dos grupos funcionais

superficiais e na estrutura porosa do carvão ativado. Deste modo, o foco das pesquisas têm sido desenvolver ou modificar as técnicas de ativação existentes usando precursores apropriados para poluentes específicos (BHATNAGAR et al. 2013).

Grande parte dos estudos com adsorventes buscam o uso de materiais alternativos de baixo custo e que possam ser aplicados na produção de carvão ativado, em substituição ao carvão mineral. Materiais que possuem alto teor de carbono podem ser convertidos em carvão ativado e, por conseguinte, utilizados como adsorventes. Em geral, a adsorção com materiais adsorventes alternativos, obtidos a partir de resíduos orgânicos, é um dos métodos considerados eficazes no processo de remoção de contaminantes em solução, sendo de baixo custo e de baixa complexidade (COSTA, FURMANSKI e DOMINGUINI, 2015).

O carvão ativado é um material que apresenta alta capacidade de adsorção, sendo eficiente e amplamente utilizado para o tratamento de água e efluentes. Entretanto, a fabricação desses adsorventes é de alto custo devido à origem e o valor da matéria-prima (BACCAR, et al., 2009). Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado. O desafio é produzir o carvão ativado com as características dos carvões já industrializados comercialmente, ou seja, que apresente área superficial elevada, diversidade de poros e valor agregado, que justifique a pesquisa e a necessidade de uma melhor compreensão e práticas ambientalmente corretas (CATELAN e MENDES, 2019).

O seguinte trabalho teve como foco promover um resíduo de fácil obtenção e baixo custo, o endocarpo do fruto da bocaiúva visando a produção do carvão ativado quimicamente com  $H_3PO_4$ , caracterizar funcionalmente o carvão, e avaliar a sua eficiência como adsorvente para azul de metileno e verificação das melhores condições experimentais para essa remoção.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Obtenção da matéria-prima e preparação do endocarpo

Os frutos da bocaiúva foram colhidos, na cidade de Trombas-GO, assentamento Couprojol. A forma de obtenção do endocarpo (separado do mesocarpo) foi realizada de duas formas, uma sem pré-aquecimento antes da carbonização do resíduo e outra com a etapa de pré-aquecimento. Sendo assim os dois carvões obtidos foram identificados respectivamente como Carvão Tipo 1 (CT1) e Carvão Tipo 2 (CT2).

Para obtenção do endocarpo para a produção do Carvão (CT1), as amostras foram limpas e descascadas, os endocarpos foram lavados com água destilada para remover sujidades e foram a estufa por 1 hora a 110°C para remover a umidade. Para a obtenção do endocarpo para a produção do Carvão (CT2), as amostras foram limpas e descascadas, para a remoção da polpa envolta do endocarpo os frutos foram pré-aquecidos a 250°C por 2,5 horas, a fim de deixar exposto apenas o endocarpo. Logo a seguir os endocarpos pré-aquecidos foram quebrados, as amêndoas foram retiradas e os endocarpos foram limpos e após seguiram a mesma metodologia de preparação do Carvão (CT1). Após a quebra dos endocarpos, as amostras de endocarpo foram maceradas até se obtenção da granulometria entre 3,35 mm e 4,75 mm, esse processo foi feito com o auxílio de peneiras estando

estes prontos para a ativação e carbonização realizadas na etapa seguinte.

### Ativação do carvão

A ativação foi realizada conforme a metodologia descrita por Yorgun e Yildiz (2015), que foi adaptada para o fruto. Para a ativação, 115g de cada tipo de carvão (seca em estufa por 1h a 110°C), foram impregnados com solução (1:1) de  $H_3PO_4$  85% e deixou-se sob agitação a 85°C por 6 horas, após isso, as amostras foram filtradas e levadas à

estufa por 12 horas a 110°C. Prosseguindo no experimento as duas amostras de endocarpo de bocaiva pós impregnação foram levadas à mufla a 500°C por 1 hora para a calcinação, as amostras foram retiradas e lavadas com água ultrapura até o pH ficar em torno de 6 e 7, depois foram levadas à estufa a 110°C por 12h, obtendo assim o carvão ativado do endocarpo da bocaiúva.

#### Caracterização do carvão ativado por Espectrometria de Infravermelho – FTIR

A identificação dos grupos funcionais e estruturas do endocarpo de bocaiuva e dos carvões ativados produzidos foram determinados em espectrômetro na região do Infravermelho, em equipamento modelo Espectrômetro Agilent Cary 630 FTIR no LAPEQ – UFT. As análises foram realizadas com o endocarpo in natura, e os dois tipos de carvão ativado.

#### Delineamento Experimental

O adsorvente utilizado em todos os experimentos foi o carvão ativado por impregnação com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, o delineamento experimental foi realizado com a utilização do programa estatístico SISVAR, versão 5.6, e foram consideradas as variáveis, concentração do azul de metileno (adsorvato), massa do carvão ativado (adsorvente) e tempo de contato.

O estudo foi conduzido usando um delineamento composto central (DCC). Neste estudo foram avaliadas 3 variáveis, X<sub>1</sub> a concentração do azul de metileno (1, 3 e 5 mg. L<sup>-1</sup>), X<sub>2</sub> massa de carvão (0,10, 0,15, 0,20 g) e X<sub>3</sub> tempo de contato (60min, 90min, 120min), a variável de resposta foi o índice de remoção do corante (%). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e comparados pelo teste de Tukey, em um nível de 5% de significância. A variável dependente deste estudo será a eficiência de remoção do azul de metileno. Foi realizado o mesmo teste para os dois carvões ativados (CT1 e CT2).

Tabela 1 – Delineamento Composto Central (DCC) para os tipos de carvão CT1 e CT2

Variáveis codificadas			Variáveis Reais			
	X1	X2	X3	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1	1	0,10	60
2	1	-1	-1	5	0,10	60
3	-1	1	-1	1	0,20	60
4	1	1	-1	5	0,20	60
5	-1	-1	1	1	0,10	120
6	1	-1	1	5	0,10	120
7	-1	1	1	1	0,20	120
8	1	1	1	5	0,20	120
9	0	0	0	3	0,15	90
10	0	0	0	3	0,15	90
11	0	0	0	3	0,15	90

Fonte: autor, 2024

#### Ensaios de adsorção

Para a construção da curva analítica para a determinação da concentração de azul de metileno, foi preparada uma solução estoque de 1000 mg. L<sup>-1</sup> de azul de aetileno a qual foi diluída para a preparação de 5 soluções padrão nas concentrações de 1, 2, 3, 4 e 5 mg. L<sup>-1</sup>. As leituras de absorbância foram realizadas em um espectrofotômetro UV-380G no comprimento de onda de 660 nm.

Para os testes de adsorção foram realizados 11 experimentos, de acordo com o Delineamento Composto Central (DCC). Todos os ensaios de adsorção foram feitos com o carvão em contato com 40 mL da solução de azul de metileno, sob agitação de 120 rpm com temperatura ambiente. Por fim, cada amostra foi encaminhada para a leitura de absorbância. A eficiência de remoção do Azul de Metileno pelo carvão

ativado foi determinada a partir da equação 1, sendo  $C_i$  e  $C_f$  a concentração inicial e final, respectivamente.

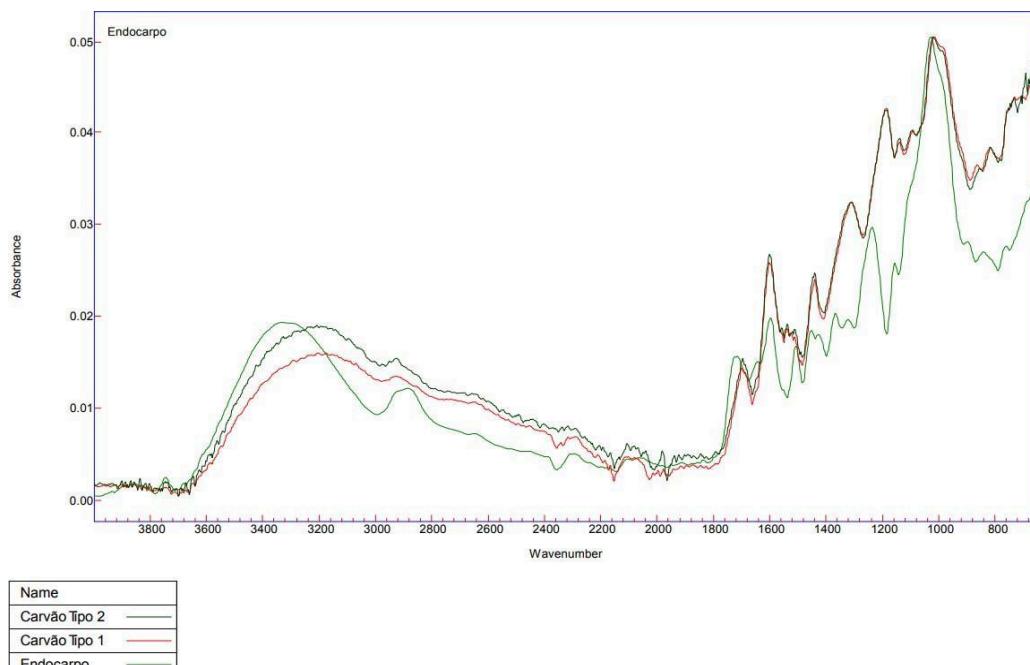
$$(1) \text{remoção}(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

## DADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do carvão ativado por Espectrometria de Infravermelho - FTIR

Após a obtenção dos dois tipos de carvões ativados realizou-se a comprovação da ativação por análise de espectrometria de infravermelho, sendo obtidos os espectros abaixo apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Espectrometria de Infravermelho.



Fonte: autor, 2024.

Nos espectros verificou-se que o endocarpo in natura apresenta uma composição rica em grupos hidroxila, carbonila, cadeias alifáticas e água adsorvida, indicando uma mistura complexa de compostos orgânicos. Nos carvões ativados, foi observado grupos funcionais como hidroxila (-OH), fenólicos (-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH), carboxila (-COOH), carbonila (C=O),

éter (C-O-C) e aromáticos (C=C), que conferem características importantes como a capacidade de adsorção de substâncias polares e ácidas. A presença de grupos fenólicos e éter sugere que os materiais podem possuir boa capacidade de adsorção de compostos orgânicos. (GOETZ, et al., 2022)

### Delineamento Experimental

Com a aplicação do planejamento experimental foi possível verificar a influência das variáveis na resposta de eficiência de remoção calculados após os ensaios de adsorção com azul de metileno, apresentados na Tabela 2, para os dois tipos de carvões produzidos (CT1 produzido sem pré- aquecimento e CT2 produzido com pré-aquecimento para obtenção do endocarpo).

Tabela 2 – Resultados do delineamento para os carvões CT1 e CT2.

		Variáveis	Índice de Remoção (%)		
X1 (mg. L <sup>-1</sup> )		X2 (g)	X3 (min)	CT1	CT2
1	1	0,10	60	25,4	67,0
2	5	0,10	60	24,68	20,40
3	1	0,20	60	70	76,7
4	5	0,20	60	27,3	48,0
5	1	0,10	120	77,3	55,0
6	5	0,10	120	44,52	77,1
7	1	0,20	120	87,5	96,6
8	5	0,20	120	57,4	48,04
9	3	0,15	90	52,5	48,16
10	3	0,15	90	36,4	69,06
11	3	0,15	90	55,2	69,06

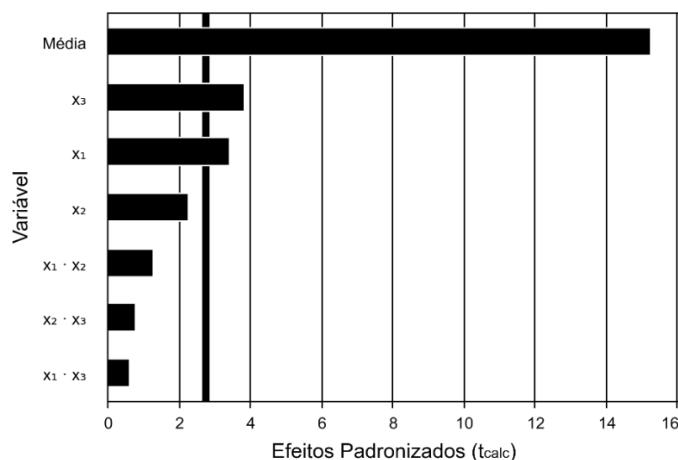
Fonte: autor, 2024

Os resultados obtidos na eficiência de remoção do azul de  
196

metíleno foram apresentados na Tabela 2. O melhor resultado para a eficiência de remoção no carvão CT1 foi obtido no experimento 7, que atingiu 87,5%. O grau de remoção variou de 24,68% a 87,5%. Já o melhor resultado para o carvão CT2 também foi obtido no experimento 7 com 96,6%. O grau de remoção variou de 20,4% a 96,6%. A grande variação do grau de remoção demonstra a influência dos fatores estudados no processo de adsorção. Os melhores resultados de remoção terem ficado no experimento 7 pode ser explicado pelo fato de que o experimento 7, tem a menor concentração, a maior quantidade de carvão e o maior tempo.

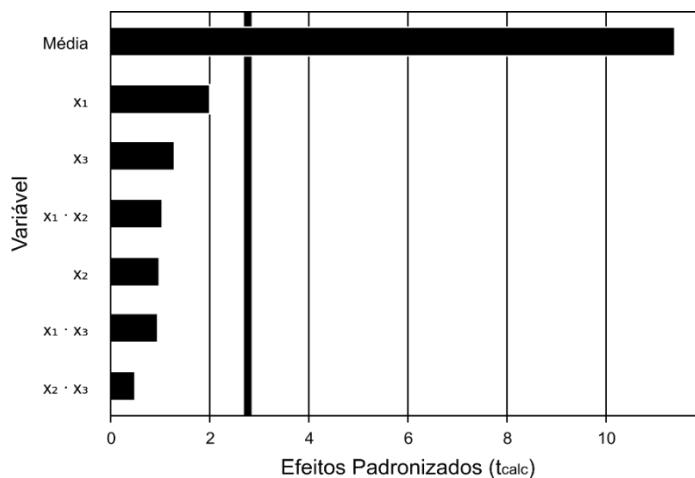
A seguir o gráfico de Pareto que representa através das colunas a magnitude da influência dos fatores principais e suas interações na resposta. A linha vertical representa a magnitude dos efeitos que são estatisticamente significativos ao nível de 95% de confiança.

Figura 2 – Gráfico de Pareto para o carvão ativado CT1.



Fonte: autor, 2024.

Figura 3 – Gráfico de Pareto para o carvão ativado CT2.



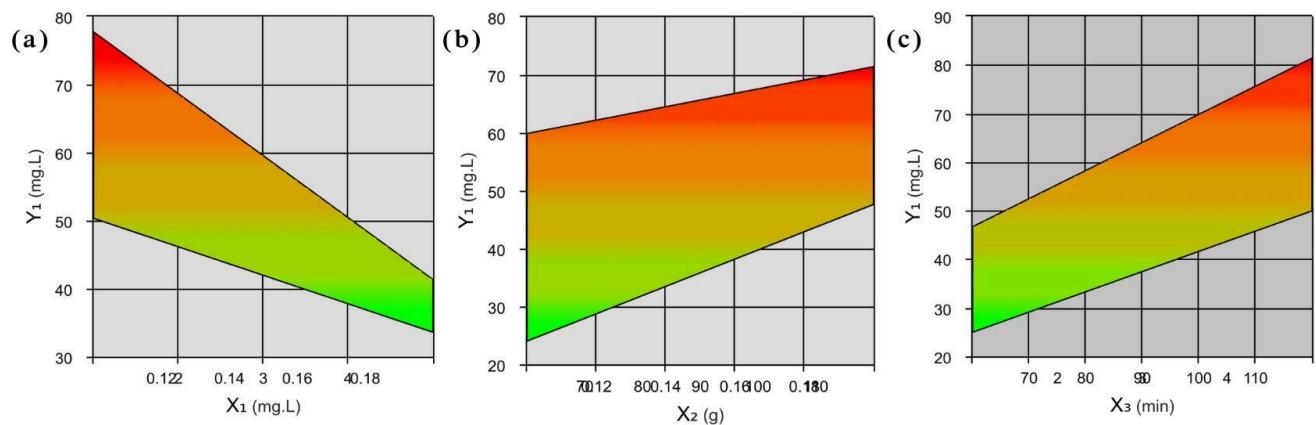
Fonte: autor, 2024.

É possível verificar no gráfico de Pareto, que para o carvão CT1 (figura 2) as variáveis  $X_3$  (tempo) e  $X_1$  (concentração) são estatisticamente significativas pois apresentam valores maiores, ultrapassando a linha de referência do gráfico, enquanto para o carvão CT2 (figura 3), nenhuma das variáveis foi significativa. Quando um gráfico de Pareto aponta que nenhuma variável foi significativa, isso pode significar que as causas ou categorias analisadas têm contribuições muito similares ou dispersas (BHALLA, 2009). Uma das causas possíveis é que as variáveis podem ter o mesmo impacto no resultado, o que dificulta a identificação de variáveis que realmente são significativas que podem não ter sido incluídas na análise. Isso significa que as causas mais impactantes ainda não foram identificadas ou consideradas (BHALLA, 2009).

Dessa maneira dados insuficientes podem levar a um gráfico de Pareto que não destaca variáveis significativas. Nesse caso, seria necessário reavaliar as variáveis analisadas, considerar outras possíveis causas ou revisar os dados e a metodologia para garantir que estejam representando corretamente o cenário.

Para os resultados da análise de superfície de resposta para obtenção das melhores condições experimentais de adsorção do carvão CT1, obteve-se os gráficos abaixo apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Influência das variáveis no resultado.



Fonte: autor, 2024.

Esses gráficos mostram como a eficiência de remoção é influenciada por três fatores principais: a massa de carvão, o tempo de contato e a concentração de azul de metileno.

O gráfico (a) apresenta a eficiência de remoção em função da concentração inicial do corante. Geralmente, à medida que a concentração inicial aumenta, a eficiência de remoção por unidade de adsorvente pode diminuir, uma vez que o carvão ativado pode ficar saturado (GOETZ, 2022). A região verde pode representar condições em que o adsorvente já está saturado e não consegue remover eficientemente o corante, enquanto a região vermelha pode indicar a eficiência em concentrações mais baixas. Isso sugere que, em concentrações iniciais mais baixas, o carvão ativado consegue remover mais corante em termos percentuais, mas em concentrações mais altas, a eficiência diminui. O gráfico (b) mostra como a eficiência de remoção do corante variou com a massa de carvão ativado. À medida que a massa de carvão aumenta, a quantidade de corante removida também aumenta, uma vez que há mais superfície disponível para absorver as moléculas do corante (GOETZ, 2022). A região de cor vermelha indicou maior eficiência de remoção, sugerindo que, em uma determinada massa de carvão, a eficiência é maximizada. Após certo ponto, essa eficiência pode se estabilizar, indicando que o sistema atingiu uma

saturação, onde aumentar ainda mais a massa de carvão não resultaria em uma remoção significativamente maior.

O gráfico (c) exibe a relação entre a eficiência de remoção do corante e o tempo de contato entre o carvão ativado e o corante. À medida que o tempo de contato aumenta, a remoção do corante também aumenta (GOETZ, 2022). Isso ocorre porque as moléculas de corante têm mais tempo para serem absorvidas pelo carvão ativado. No gráfico, vermelho representou uma maior eficiência de remoção, indicando que após um certo período, a remoção foi maximizada. A curva de adsorção tende a mostrar um aumento rápido na remoção do corante nos primeiros minutos, seguido por uma estabilização, onde a remoção adicional é mínima, já que o equilíbrio de adsorção é alcançado. Isso sugere que há um tempo ideal de contato, após o qual continuar o processo não traria ganhos significativos em termos de remoção de corante. Também, foi realizado um gráfico de análise de superfície de resposta com o carvão ativado CT2, porém os dados obtidos não foram significativos, a curva de adsorção que representa a maior eficiência de remoção, não foi alcançada, sendo necessário mais testes, com novos delineamentos e variáveis, para maximizar a eficiência do carvão.

A Tabela 3 a seguir apresenta o comparativo entre alguns parâmetros obtidos nesse estudo com o de outros autores que trabalharam com carvões ativados produzidos de maneira similar, a partir de outras biomassas e que empregaram como agente ativante H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e investigaram a eficiência de remoção de azul de metileno.

Tabela 3 – Dados de outros estudos semelhantes ao Endocarpo da bocaíuva.

Autor	Biomassa	Massa	Tempo	Concentração	Eficiência de remoção (%)
				o inicial	

Autor	Endocarpo da bocaiúva	0,2 g	120 min	1 mg. L <sup>-1</sup>	87,5 e 96,6 (CT1 e CT2)
ALBIS, LOPES e ROMERO, 2017.	Casca de mandioca	0,2 g	180 min	400 mg. L <sup>-1</sup>	99,98
SANTANA, et al., 2018.	Bambu	0,01g	720 min	50 mg. L <sup>-1</sup>	99,7
SILVA, et al., 2024.	Casca de Tamboril	0,03g	120 min	1179,86 mg. L <sup>-1</sup>	82,67
SOUZA, TEIXEIRA e FERNANDES, 2023.	Casca de tucumã	0,1g	20 min	10 mg. L <sup>-1</sup>	99,47

Fonte: autor, 2024

Os estudos utilizam diferentes tipos de biomassa, incluindo casca de mandioca, bambu, casca de tamboril e casca de tucumã. Cada uma dessas biomassas têm propriedades físicas e químicas distintas que influenciam sua capacidade de adsorção. A quantidade de carvão ativado utilizado variou consideravelmente, de 0,01 g (bambu) a 0,2 g (endocarpo de bocaiuva e casca de mandioca). A massa afeta a disponibilidade de superfície para a adsorção do corante, o que influencia a eficiência de remoção. O tempo de adsorção varia de 20 minutos (casca de tucumã) a 720 minutos (bambu). Um tempo de contato maior geralmente permite uma maior interação entre o corante e a biomassa, aumentando a eficiência de remoção. As concentrações iniciais de corante variam de 1 mg. L<sup>-1</sup> a 1179,86 mg. L<sup>-1</sup>. Geralmente, uma maior concentração inicial pode saturar o material adsorvente, o que pode diminuir a eficiência de remoção. A eficiência de remoção varia entre 82,67% (casca de tamboril) e 99,98% (casca de mandioca).

A eficiência de remoção de corante depende de uma combinação de fatores, incluindo o tipo de biomassa, a massa utilizada, o tempo de adsorção e a concentração inicial do corante. (COSTA, FURMANSKI, DOMINGUINI, 2015). Biomassas como casca de mandioca e casca de tucumã mostraram alta eficiência de remoção (>99%) em tempos

relativamente curtos (20 a 180 minutos), o que indica seu potencial eficaz como adsorvente. Por outro lado, o bambu e a casca de tamboril também demonstraram ser eficazes, mas necessitam de tempos mais longos ou menores massas para alcançar eficiências elevadas. Isso sugere que diferentes biomassas podem ser adequadas para diferentes condições.

Dessa forma, a escolha dos parâmetros operacionais depende dos objetivos específicos do processo de remoção de corantes, considerando a eficiência desejada, a concentração do corante a ser tratada e o tempo disponível para o processo. O carvão ativado produzido a partir do endocarpo da bocaiuva apresentou resultados satisfatórios de eficiência de remoção comparado ao carvão ativado a partir de outras biomassas. A análise sugere que, com os ajustes necessários, a eficiência do carvão ativado poderia ser aumentada, tornando-o comparável a outros materiais lignocelulósicos, o que também contribui para o desenvolvimento sustentável e a diminuição dos impactos ambientais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto concentrou-se em promover o uso do endocarpo do fruto da bocaiúva como um resíduo de fácil obtenção e baixo custo para produzir carvão ativado quimicamente com  $H_3 PO_4$ . O trabalho inclui a caracterização do carvão ativado e a avaliação de sua eficiência como adsorvente em um experimento com azul de metileno. A análise FTIR revelou que o carvão do endocarpo foi ativado, e que não houve diferença significativa entre o carvão sem e com pré-aquecimento. De acordo com o DCC, o carvão CT1 foi mais eficiente na remoção de azul de metileno, indicando que é um bom adsorvente. Diante disso, o adsorvente produzido da biomassa residual demonstrou ser promissor, contribuindo tanto para a diminuição dos impactos causados ao meio ambiente quanto para o desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ALBIS, A.; LOPEZ, A.; ROMERO, M. Removal of methylene blue from aqueous solutions using cassava peel (*Manihot esculenta*) modified with phosphoric acid, *Prospectiva*, Vol 15, Nº 2, 60-73, 2017.
- BACCAR, R.; BOUZID, J.; FEKI, M.; MONTIEL, A. Preparation of activated carbon from Tunisian olive- waste cakes and its application for adsorption of heavy metal ions. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 1522–1529, 2009. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.06.041.
- BHALLA, Aditya. Don't misuse The Pareto Principle four common mistakes can lead you to the wrong conclusions. Publication: Six Sigma Forum Magazine Date (Vol. 8). QAI India Ltd. pp 15-18, 2009.
- BHATNAGAR, A.; HOGLAND, W.; MARQUES, M.; SILLANPÄÄ, M. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal*, 219: 499-511, 2013. doi: 10.1016/j.cej.2012.12.038.
- CATELAN, T. C.; MENDES, A.N.F. Produção de carvão ativado a partir da palha de milho e posterior utilização para remoção do corante azul de metileno de efluentes aquosos. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5 (3): 139 – 154, 2019.
- COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Production, characterization and application of activated carbon from nutshell for adsorption of methylene blue. *Revista Virtual de Química*, 7(4), 1272-1285, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150070>
- DUARTE, A. L.; FARIA, A. N. S.; MENDES, L. C. F.; PÊGO, K. A. C.; PEREIRA, A. F. A abordagem sistêmica e o ciclo de vida do licor de macaúba. *Mix sustentável* 7.4 (2021): 137148. Print.FAVARO, S. P.; CARDOSO, A. N.; SCHULTZ, E. L.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. da; LEAL, W. G. de O; PIGHINELLI, A. L. M. T.; SILVA, B. R. da; CRUZ, R. G. S. da. Armazenamento e processamento da macaúba: contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa. Brasília: EMBRAPA Agroenergia, 2018.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Programa Energia. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais. Relatório final. Belo Horizonte: CETEC, p. 152, 1983. GOETZ, N.M.; KUNST,

- S.R.; MORISSO, F.D.P.; OLIVEIRA, C. T.; MACHADO, T. C. Estudo da eficiência do uso de bambu como bioadsorvente na remoção de azul de metileno, revista Matéria, v.27, n.3, 2022. GUO, Y.; ROCKSTRAW, D. A. Physicochemical properties of carbons prepared from pecan shell by phosphoric acid activation. Bioresource Technology, 98, 1513, 2007.
- SANTANA, G. M.; LELIS, R. C. C.; PAES, J. B.; MORAIS, R. M; LOPES, C. R.; LIMA, C. R. ACTIVATED CARBON FROM BAMBOO (*Bambusa vulgaris*) FOR METHYLENE BLUE REMOVAL: PREDICTION TO THE ENVIRONMENT APPLICATIONS. Ci. Fl., v. 28, n. 3, jul. - set., 2018.
- SILVA, F. A.; CANTANHEDE, L. B.; MARQUES, I. S.; FIGUEREDO, G. P. Adsorção de azul de metileno utilizando carvão ativado preparado a partir da casca do tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*). Quim. Nova, Vol. 47, No. 3, e-20230106, 1-9, 2024.
- SOUZA, C. D. R de.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, S. L. R.; Influência dos parâmetros na síntese do carvão ativado da casca do *Astrocaryum aculeatum* no processo de adsorção. Revista Principia, João Pessoa, v. 60, n. 3, p. 958-976, 2023. ISSN (on-line): 2447-9187.
- XAVIER, Eduardo Vinicius Acunha; COSTA, Andréia Alves. Aplicações Da Macaúba: Um Estudo Prospectivo. *Cadernos de Prospecção* 13.4 (2020): 1147. Print. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) Macaúba. 2021.
- YORGUN, S.; YILDIZ, D. Preparation and characterization of activated carbons from Paulownia wood by chemical activation with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. J. Taiwan. Inst. Chem. Eng. 53, 122-131, 2015. doi:10.1016/j.jtice.2015.02.032.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

## Capítulo 13

# CONSTRUÇÃO DE UMA EXTRUSORA PARA RECICLAR GARRAFAS PLÁSTICAS EM FILAMENTO PARA IMPRESSÃO 3D

Rafael de Oliveira Ribeiro<sup>1</sup>  
Warley Gramacho da Silva<sup>2</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma extrusora para reciclagem de garrafas PET em filamentos para impressão 3D, oferecendo uma solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos plásticos. A extrusora foi construída utilizando componentes acessíveis, como Arduino Mega, Ramps 1.4, motores de passo e uma engrenagem impressa em 3D, permitindo o controle preciso do fluxo de material. O plástico reciclado foi aquecido a 230°C e transformado em filamento com diâmetro de 1,75 mm, adequado para impressoras 3D do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*). Os testes de impressão 3D revelaram que o filamento reciclado apresentava propriedades comparáveis aos filamentos industriais, com precisão dimensional e boa adesão entre camadas. O uso de garrafas PET recicladas reforça a importância da economia circular, contribuindo para a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de plásticos. Conclui-se que a extrusora oferece uma alternativa eficaz e acessível para a reciclagem de plásticos, promovendo a sustentabilidade no campo da impressão 3D.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Impressão 3D, Extrusão.

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciência da Computação, PIBITI/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, oliveira.rafael@uft.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação, Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, wgramacho@uft.edu.br

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a impressão 3D tornou-se amplamente utilizada em diversas áreas, desde a prototipação até a medicina. Essa tecnologia tem o potencial de transformar vários setores industriais, promovendo inovações desde a produção de peças personalizadas até a fabricação de itens complexos em menor escala (ZASTROW et al., 2020). No entanto, uma das principais limitações dessa tecnologia é o alto custo dos materiais, especialmente os filamentos de polímero puro. Nesse contexto, a reciclagem de plásticos surgiu como uma alternativa tanto econômica quanto sustentável para a produção de filamentos para impressora 3D.

Globalmente, o plástico constitui entre 12% e 13% dos resíduos sólidos urbanos em países como Estados Unidos e Reino Unido, enquanto na China esse valor é de aproximadamente 11% (MDPI, 2022; MIT, 2023). No Brasil, o cenário é alarmante, com o país sendo o quarto maior produtor de lixo plástico no mundo, gerando cerca de 11,3 milhões de toneladas de resíduos plásticos por ano, dos quais apenas 1,28% são reciclados (WWF, 2024). Esse baixo índice de reciclagem reflete desafios significativos na infraestrutura de coleta e no processamento de materiais recicláveis. Tais dados evidenciam a necessidade de soluções inovadoras para mitigar os impactos ambientais desse material, como a reciclagem de garrafas PET (Polietileno Tereftalato) para a produção de filamentos para impressão 3D.

A produção de filamentos para impressoras 3D do tipo FDM (*Fused Deposition Modeling*) pode ser realizada a partir da extrusão de grânulos ou resíduos plásticos. Esse processo envolve a transformação do plástico em fios que podem ser utilizados como matéria-prima para a fabricação de diversos objetos (KRISTIAWAN et al., 2021). Desse modo, no presente trabalho, optou-se pela utilização de garrafas plásticas como matéria-prima, uma vez que são amplamente disponíveis em resíduos sólidos urbanos e possuem propriedades ideais para a produção de filamentos, como durabilidade, resistência a altas

temperaturas e flexibilidade (TYLMAN; DZIERŻEK , 2020).

O objetivo principal deste trabalho foi a construção de uma extrusora para reciclar garrafas PET (Polietileno Tereftalato) e convertê-las em filamentos para impressão 3D. Além disso, buscou- se fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias no campo da reciclagem de plásticos. A criação dessa tecnologia visa oferecer uma solução sustentável e econômica para a reutilização de plásticos, promovendo uma economia circular e incentivando práticas inovadoras de protótipos. A construção da extrusora foi baseada em modelos anteriores, como o descrito por Tylman e Dzierżek (2020), com adaptações no design para otimizar o processo de extrusão de garrafas PET. Para avaliar a previsão de impressão utilizando os filamentos gerados a partir de garrafas PET, foram realizados testes específicos de impressão. Foi observado que o filamento resultante de garrafas PET apresentou resultados comparáveis aos filamentos normais produzidos industrialmente. Os resultados obtidos reforçam a contribuição deste trabalho para a pesquisa e desenvolvimento na área de reciclagem, além de promover a adoção de tecnologias acessíveis e sustentáveis tanto na cultura maker quanto no ambiente industrial.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Materiais Utilizados

Foram utilizadas garrafas plásticas de PET, coletadas de resíduos sólidos urbanos, como matéria-prima para a produção do filamento. As garrafas foram higienizadas, cortadas em tiras finas e preparadas para o processo de extrusão. A extrusora foi construída utilizando componentes como:

- Uma placa Arduino Mega (Figura 1)



Figura 1 - Arduino Mega

- Uma placa Ramps 1.4 (*RepRap Arduino Mega Polulu Shield*)

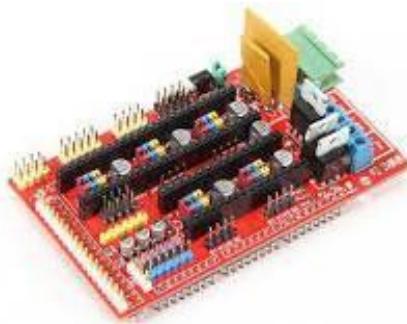


Figura 2: Ramps 1.4

- Motores de passo da impressora



Figura 3: Motor de passo.

- Hotend de impressora adaptado, onde a entrada foi alargada e o bico alterado para 2 mm, conforme Figuras 5 e 6, permitindo que o filete entre, seja dobrado e saia pela ponta do bico no tamanho de um filamento para impressão 3D.

Figura 5- hot ende modificado (trás)



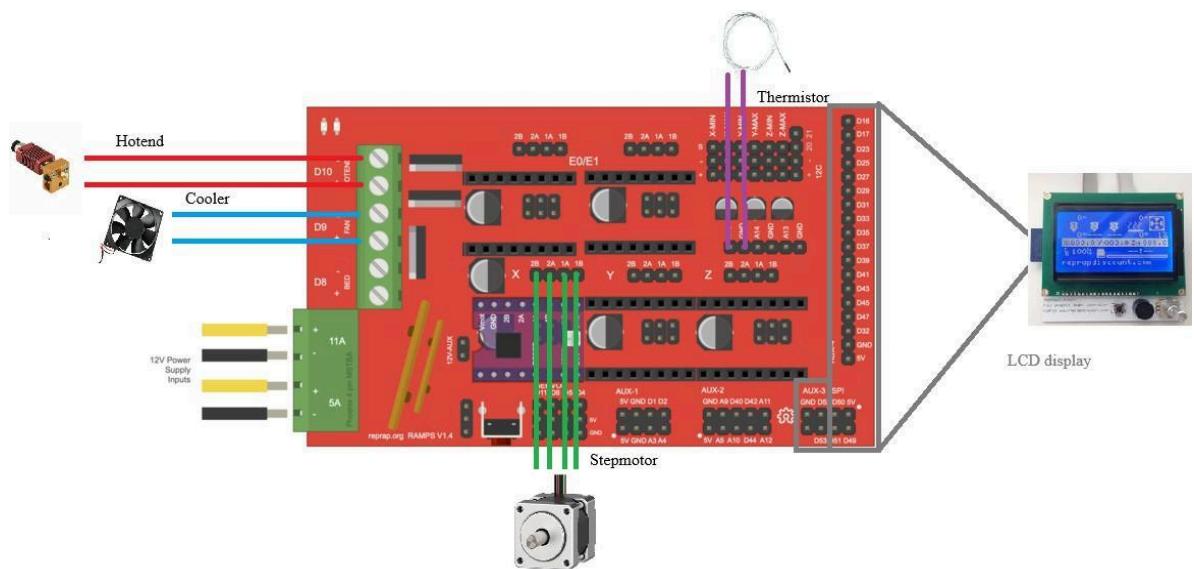
Figura 6: hot ende modificado (frente)



## Construção da Extrusora

O sistema central da extrusora foi controlado por uma placa Arduino Mega conectada a um Ramps 1.4, responsável pela gestão da temperatura e pelo controle do motor de passo. Foi instalado um firmware de impressoras 3D open source chamado Marlin no Arduino. Esse firmware foi escolhido porque suporta todas as partes e peças selecionadas, além de conseguir executar todas as operações necessárias para a reciclagem dos filetes.

A utilização do Ramps 1.4 como parte do sistema facilitou a integração dos diferentes componentes (Figura 4), permitindo um controle centralizado e preciso da temperatura e do movimento do filamento. Essa configuração foi essencial para garantir a eficiência do processo de extrusão e a consistência do filamento produzido, que manteve um diâmetro adequado e uma qualidade satisfatória para impressão 3D.



derretido a 230°C e extrudado através de um bico modificado (Figuras ) para formar filamentos com diâmetro de aproximadamente 1,75 mm, adequado para impressão 3D. Após a extrusão, o filamento foi resfriado gradualmente e enrolado automaticamente em carretéis para armazenamento.

### Testes de Qualidade e Impressão

Para verificar a viabilidade de utilização do filamento produzido, foram realizados testes de impressão. O filamento reciclado foi submetido a testes de impressão 3D em uma impressora Sethi S3, ajustada para um flow rate de 130% e temperatura do bico de 260°C.

## RESULTADOS

Inicialmente, foram impressas peças necessárias para a construção de um filetador, conforme ilustrado na Figura 7, cujo objetivo é transformar a garrafas plásticas em filetes que posteriormente irá passar pelo bico adaptado do HotEnd.



Figura 7: Filetador de garrafas plásticas

Além disso, as engrenagens e o suporte mostrado na Figura 8, utilizados para tracionar o filamento gerado, também foram impressos, permitindo o correto funcionamento do sistema de tração da máquina.

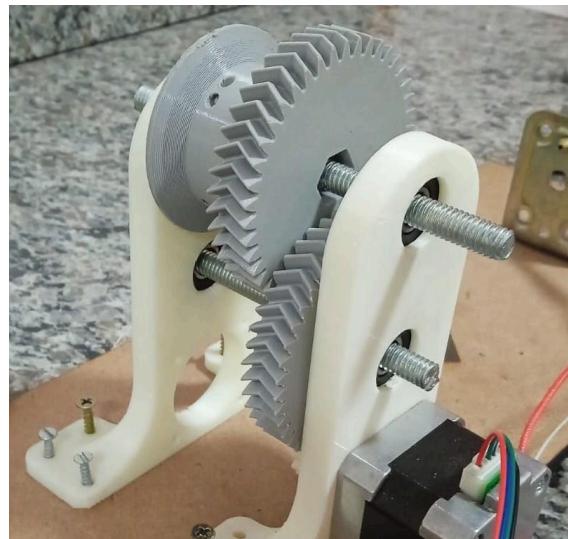


Figura 8: Engrenagens e suporte para tracionamento do filamento

A Figura 9 apresenta peças impressas utilizando filamento produzido a partir de garrafas plásticas recicladas. As impressões, representadas por um vaso decorativo e um modelo de barco, exibem uma boa qualidade visual e estrutura dimensional estável. O filamento reciclado mostrou ser capaz de manter a adesão adequada entre as camadas durante o processo de impressão, resultando em peças com acabamento uniforme e detalhamento satisfatório. Esses resultados reforçam a viabilidade técnica do filamento reciclado, demonstrando que ele pode ser utilizado com sucesso em aplicações de prototipagem e produção de objetos funcionais, sem comprometer a qualidade quando comparado aos filamentos comerciais.



Figura 9- Peças impressas utilizando filamento reciclado

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma extrusora para reciclagem de garrafas PET em filamentos para impressão 3D, buscando fornecer uma solução sustentável para o reaproveitamento de resíduos plásticos, ao mesmo tempo em que fomenta a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias. Os resultados obtidos demonstraram que os filamentos reciclados produzidos a partir das garrafas PET são viáveis e com resultados compatíveis com os filamentos comerciais do mesmo tipo.

A partir dos resultados, conclui-se que o projeto contribui para reciclagem de plásticos e utilização de tecnologias sustentáveis na prototipagem 3D. A viabilidade do uso de filamentos reciclados em impressoras 3D reforça a importância da economia circular, ao transformar resíduos plásticos em novos produtos de valor agregado, reduzindo o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de plásticos.

## REFERÊNCIAS

MDPI. Plastic Waste Recycling, Applications, and Future Prospects for a Sustainable Environment. *MDPI Sustainability Journal*, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com>>. Acesso em: 18 maio 2023.

NATURE SUSTAINABILITY. On the plastics crisis. *Nature Sustainability*, 2023. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41893-023-01236-z>>. Acesso em: 19 outubro 2023.

OECD. Global plastic waste set to almost triple by 2060. *OECD Report*, 2024. Disponível em: <<https://www.oecd.org>>. Acesso em: 24 janeiro 2024.

WWF BRASIL. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.

WWF Brasil, 2024. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br>>. Acesso em: 24 janeiro 2024.

TYLMAN, Igor; DZIERŻEK, Kazimierz. Filament for a 3D Printer from Pet

Bottles - Simple Machine. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2020. Disponível em: <<http://www.ijmerr.com/uploadfile/2020/0916/20200916051149557.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2023.

ZASTROW, Mark et al. 3D printing gets bigger, faster and stronger: Research advances are changing the image of a once-niche technology. Nature, 2020. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00271-6>>. Acesso em: 15 setembro 2024.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

## Capítulo 14

# CONTORNANDO PROBLEMAS NUMÉRICOS POR MEIO DE COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA DE ALTA PRECISÃO

José Lucas Carvalho Silva<sup>1</sup>  
Tanilson Dias dos Santos<sup>2</sup>

## RESUMO

No desenvolvimento de linguagens de programação, frequentemente nos deparamos com limitações no tamanho máximo alocado para certos tipos de variáveis. Essas restrições podem impactar negativamente uma variedade de aplicações que necessitam de maior precisão na representação de números, especialmente quando esses números possuem uma quantidade de dígitos que excede a capacidade de representação oferecida pela linguagem. Em nossa pesquisa, exploramos o problema associado à representação numérica e investigamos soluções para superar essas limitações. Para contornar tais desafios, utilizamos técnicas computacionais avançadas, como a implementação de bibliotecas de precisão arbitrária, que permitem a manipulação de números com uma precisão muito superior àquela oferecida pelos tipos de dados padrão das linguagens. Este artigo apresenta os resultados da nossa investigação, focando especificamente no cálculo de valores de constantes matemáticas como os números de Fibonacci. Nossos experimentos mostraram um sucesso parcial, e também discutimos possíveis soluções e abordagens alternativas para os problemas encontrados durante a pesquisa. As descobertas preliminares indicam caminhos promissores para a melhoria da precisão numérica e a superação das limitações impostas pelas representações tradicionais.

**Palavras-chave:** imprecisão numérica; número  $\pi$ ; número de Fibonacci;

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciência da Computação, Pibiti/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, lucas.jose1@mail.uft.edu.br.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação, Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, tanilson.dias@uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

Os computadores enxergam e lidam com os números representados numa base binária, isto é, com bits, unidades que podem ser 0 ou 1. Os números inteiros, mais comumente utilizados, são representados por grupos de bits, onde o valor ocupa a totalidade desse grupo. Números muito extensos, sejam fracionais ou não, como números reais, irracionais, dentre outros, são representados pelo que são chamados de números de pontos flutuantes (ou em alguns casos números de pontos fixos), onde os bits são divididos em 3 partes distintas, o sinal, o expoente e a mantissa. Os números de pontos flutuantes são padronizados pela IEEE 754 (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos), que foi estabelecida em 1985, contando com grandes revisões de tempos em tempos, e adotada por todas as grandes empresas produtores de microchips e seus softwares/compiladores associados. Essa representação nada mais é do que uma expressão de notação científica, onde cada parte dessa expressão de notação científica, onde cada parte dessa expressão de notação científica, onde cada parte dessa expressão possui um número predeterminado de bits, baseado na variável, Nos padrões IEEE 754, temos que para float, por exemplo, 1 bit se designa para o sinal, 8 para o expoente e 23 para a mantissa. Já para double, têm-se 1 bit para o sinal, 11 para o expoente e 52 para a mantissa (D. Goldberg, 1991). Na definição de linguagens de programação, geralmente são especificadas no projeto limites para o tamanho das variáveis utilizadas. Essas especificações são intrínsecas ao propósito de cada linguagem e agem como um gargalo em cálculos que exigem grande precisão e/ou muitas casas decimais para representar números com infinitas casas decimais ou, simplesmente, com muitas casas decimais, como por exemplo os valores de e e  $\pi$ . Em linguagem C, por exemplo, os tamanhos das variáveis podem ser distintos dos representados, a depender da máquina e do compilador utilizado.

Tabela 1: Variáveis em linguagem C.

Tipo de variável	Tamanho em bits	Intervalo	
signed int	32	-2.147.483.648	2.147.483.647
unsigned int	32	0	4.294.967.295
float	32	3,4E-38	3,4E+38
double		1,7E-308	1,7E-308

A Tabela 1 apresenta o tamanho de alguns tipos de variáveis em linguagem de programação C, considerando uma arquitetura e compilador de 32 bits. Cada variável possui um tamanho em bits e um intervalo que pode ser definido como mínimo e máximo. Na Tabela 1, o tipo signed int em linguagem C, por exemplo, possui um tamanho de 32 bits, e um intervalo que vai de -2.147.483.648, sendo este o mínimo, e 2.147.483.647, que é o máximo (Kernighan & Ritchie, 1988). Quando um valor escapa do limite de uma variável, a IEEE 754 dita alguns tratamentos de exceções que devem ser aplicados nestes casos, a depender das configurações utilizadas, com exceção mais comum no caso de um overflow se arredondar o resultado para infinito, ou o valor máximo possível. Qualquer valor, seja ele maior ou menor que esse intervalo, vai levar ao que é conhecido como underflow, se for menor que o intervalo, ou overflow se for maior que o mesmo intervalo. Esses valores seguem o padrão da IEEE 754, e o intervalo apresentado demonstra o poder de representação dessa configuração de variável. Além destes limites existentes, outro fator extremamente importante é o fato de que existem erros de precisão relacionados aos números de ponto flutuante. É inerente a este tipo de representação a existência de erros de arredondamento, tendo em vista que a proposta é armazenar números com infinitas casas decimais ou simplesmente muito grandes, em um espaço finito de armazenamento. Nesta pesquisa efetuamos

uma breve comparação de alguns cálculos de números com muitas casas decimais e fazemos uma breve comparação dos resultados retornados de vários tipos de variáveis com os resultados retornados pelo cálculo utilizando variáveis da biblioteca GMP (GNU Multiple Precision Arithmetic Library), que permite configurar a precisão da variável do modo desejado, a fim de verificar os casos de uso e o benefício dos aumentos de precisão e consequente poder de representação. A seguir descrevemos os resultados preliminares da pesquisa.

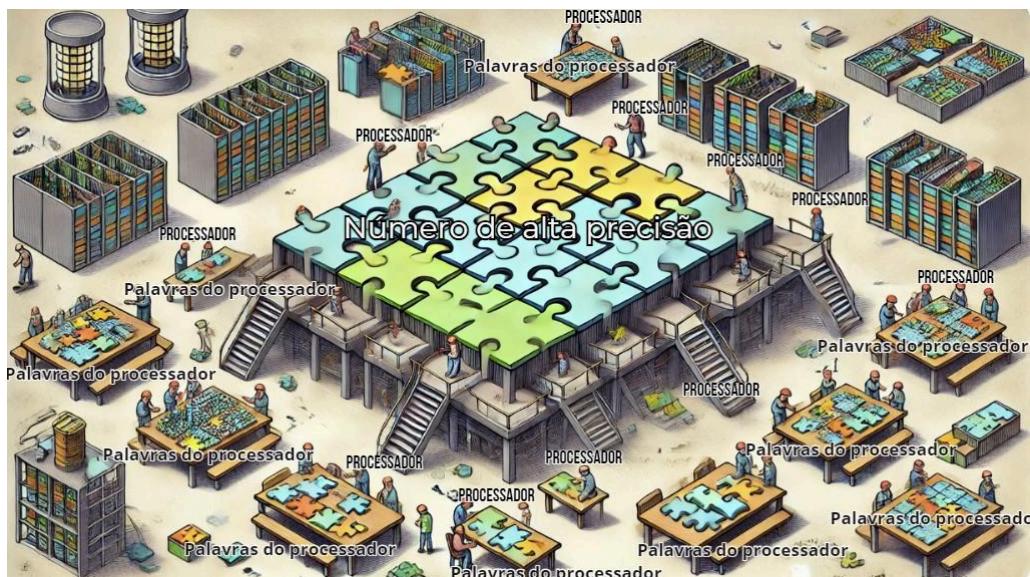
## MÉTODO E MATERIAIS

Este projeto aborda uma pesquisa de natureza aplicada, investigativa e experimental. O objetivo central é explorar a biblioteca GMP (GNU Multiple Precision Arithmetic Library) em cálculos que exigem precisão elevada. A pesquisa busca soluções práticas para problemas específicos de representação numérica, enquanto aprofunda a compreensão de problemas de interesse da comunidade científica no geral. A abordagem também é experimental, pois envolve identificar ferramentas e técnicas para calcular variáveis numéricas nos problemas selecionados, e avaliar a performance da biblioteca GMP. Assim, esta pesquisa contribui para a compreensão dos limites de representação de linguagem e programação e identifica cenários onde o uso de artifícios computacionais podem ser úteis. Os experimentos desta pesquisa foram conduzidos em uma máquina Acer Aspire 515-45-R4ZF AMD, equipado com 8GB de RAM e um SSD de 256GB, baseado na arquitetura x64. A configuração incluiu ainda uma máquina virtual com o sistema operacional Debian GNU/Linux de 64 bits, com 4GB de memória, 2GB de capacidade de armazenamento e 5 Unidades Centrais de Processamento (CPUs). Nessa máquina virtual, foram empregados os compiladores GNU GCC (GNU Compiler Collection), Portugol Studio e Replit para compilar em linguagem Python. Para viabilizar a análise abrangente, os códigos foram implementados em

três linguagens distintas: C, Python e Portugol. Para garantir que os resultados fossem precisos e não suscetíveis a erros de arredondamento, a precisão dos cálculos foi configurada, com a biblioteca GMP para 128 bits, portanto o dobro de precisão definido para a variável do tipo double, como mostra a Tabela 1. As bibliotecas de precisão arbitrária, como GMP (GNU Multiple Precision Arithmetic Library), são amplamente utilizadas para lidar com números de grande magnitude e precisão em linguagens de programação, onde os tipos de dados primitivos podem ter limitações. A questão da precisão arbitrária em bibliotecas como GMP é um pouco mais complexa. Embora essas bibliotecas permitam operações com números de precisão arbitrária, elas ainda têm limitações práticas devido a fatores como a quantidade de memória disponível e a eficiência das operações. Segundo a documentação da própria, A biblioteca GMP é uma biblioteca de software que permite realizar operações aritméticas em números inteiros e de ponto flutuante com precisão arbitrária. A maneira como a GMP funciona em um processador, por exemplo, depende de vários fatores, incluindo a arquitetura do processador, o sistema operacional e a implementação particular da biblioteca. A GMP pode usar otimizações específicas do hardware quando disponíveis. Por exemplo, ela pode aproveitar instruções SIMD (Single instruction, Multiple Data) em processadores modernos para acelerar certas operações aritméticas, como adições e multiplicações de grandes números inteiros. Quando se realiza operações com números de precisão arbitrária usando a GMP, ela divide essas operações em etapas menores que podem ser executadas eficientemente em hardware adjacentes. Isso pode envolver a divisão dos números em partes menores que cabem na palavra do processador e a realização de operações nessas partes individualmente. A figura 1 faz uma analogia a como a GMP consegue executar os cálculos com acurácia, mesmo quando se trata de números muito grandes. Nessa analogia, o quebra-cabeça gigante representa um número de alta precisão, que é dividido em peças menores. Essas peças são montadas em mesas menores (que representam as palavras

do processador) por trabalhadores (representando o processador). Após as partes menores serem montadas, elas são combinadas para formar o quebra-cabeça completo, que simboliza o resultado final.

Figura 1: Representação de como funciona a GMP.



Além disso, a GMP é altamente otimizada e eficiente, implementando algoritmos sofisticados para realizar operações aritméticas com o mínimo de uso de recursos possível. Existem diversos métodos para calcular o valor de  $\pi$ , que variam desde uso de séries infinitas à algoritmos iterativos mais simples. O método selecionado para o cálculo efetuado nesta pesquisa foi o Algoritmo de Chudnovsky, que é considerado o estado da arte atual para o cálculo de novas casas decimais em  $\pi$  (J. Guillera, 2009). O algoritmo utilizado tem boa eficiência e detém todos os recordes recentes de novas casas decimais para representação de  $\pi$ . O recorde mais recente, utilizando esse algoritmo, consegue representar o número transcendental com 100 trilhões de casas decimais, feito alcançado pela Google em um projeto sob comando da desenvolvedora Emma Haruka Iwao, com o intuito de demonstrar o poder computacional da Google Cloud, utilizando o programa Y-Cruncher (ferramenta de computação de constantes), que utiliza o algoritmo de Chudnovsky em uma versão super otimizada e de

forma escalável (E. Iwao, 2019). Para os experimentos foi utilizada uma versão simples do algoritmo em C, em versões com e sem uso da biblioteca GMP, e também em linguagem Python.

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}, F_0 = 0, F_1 = 1$$

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (6k)! (545140134k + 13591409)}{(3k)! (k!)^3 (640320^3)^{k+\frac{1}{2}}}$$

**Figura 2:** Algoritmo de Chudnovsky

Figura 3: Regra de formação da sequência de Fibonacci

**Figura 4 :** Pseudocódigo da sequência de Fibonacci.

```

1. DEFINE tamanho n = 100
2.
3. FUNÇÃO calcularFibonacci(sequencia[], tamanho)
4.   INICIALIZA sequencia[0] com 0
5.   INICIALIZA sequencia[1] com 1
6.
7.   PARA i DE 2 ATÉ tamanho - 1 FAÇA
8.     sequencia[i] ← sequencia[i - 1] + sequencia[i - 2]
9.   FIM PARA
10.  FIM FUNÇÃO
11. sequencia
12. FUNÇÃO PRINCIPAL
13.   DECLARA array [n]
14.
15.   PARA i DE 0 ATÉ n - 1 FAÇA
16.     INICIALIZA sequencia[i]
17.   FIM PARA
18.
19.   CHAMA calcularFibonacci(sequencia, n)
20.
21.   ABRE arquivo "resultado_gmp.txt" em modo escrita
22.   SE arquivo não pode ser aberto ENTÃO
23.     IMPRIME "Erro ao abrir o arquivo."
24.     RETORNA 1
25.   FIM SE
26.
27.   PARA i DE 0 ATÉ n - 1 FAÇA
28.     ESCREVE sequencia[i] no arquivo
29.   FIM PARA
30.
31.   FECHA arquivo
32.
33.   IMPRIME "Sequencia de Fibonacci (GMP):"
34.   PARA i DE 0 ATÉ n - 1 FAÇA
35.     IMPRIME sequencia[i] no terminal
36.   FIM PARA
37.
38.   PARA i DE 0 ATÉ n - 1 FAÇA
39.     LIBERA memória de sequencia[i]
40.   FIM PARA
41.
42.   IMPRIME "Resultados gravados no arquivo 'resultado_gmp.txt'."
43.   RETORNA 0
44. FIM FUNÇÃO PRINCIPAL

```

Calcula os primeiros n termos da sequência de Fibonacci e armazena-os no array 'sequencia[]'.

Inicializa um array 'sequencia[]' de tamanho 'n'.

Abre um arquivo chamado resultado\_gmp.txt para escrita.

Escreve os valores da sequência de Fibonacci no arquivo, fecha o arquivo, Imprime a sequência de Fibonacci no terminal e libera a memória ocupada pelo array 'sequencia[]'.

Fim da função principal.

A Figura 4 é a representação do algoritmo que foi implementado nas linguagens C, Python e portugol para o cálculo da sequência de Fibonacci.

## DADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos nos experimentos realizados, identificando alguns erros de precisão notados em cada linguagem para diferentes tipos de dados. Além disso, fizemos uma análise comparativa do desempenho da biblioteca GMP em relação às linguagens avaliadas.

### a. Cálculo do Número de Fibonacci

Nos experimentos foram utilizados os 100 primeiros números da sequência de Fibonacci como base. Observamos que, durante os testes, os dados do tipo float em linguagem C foram os primeiros a apresentar erros de representação. Esses erros tornaram-se evidentes a partir do 37º termo. O número em questão é o 24157817, este é o 37º termo da sequência e possui 8 casas decimais (OEIS Foundation Inc, 2024). No entanto, foi notado que a representação do tipo float foi arredondada para 24157816, resultando em uma imprecisão numérica. Um tipo de dado inteiro em linguagem C e Portugol possui 32 bits. Para esse tipo, o intervalo de representação é de -2147483648 a 2147483647 como mostra a Tabela 1. Uma operação que resulte em um valor maior que 2147483647 ou menor que -2147483648 resultará em um overflow caso ultrapasse o limite máximo ou underflow se for menor que o limite mínimo. Portanto, quando um número inteiro ultrapassa o valor máximo que pode ser representado com o número de bits disponíveis, ocorre um rollover (estouro de representação com mudança no sinal), onde o bit mais significativo é usado para continuar contando a partir do valor mínimo. Ao lidar com tipos inteiros na linguagem C e portugol, observou-se um início de divergências a partir do 47º termo da

sequência. O número conhecido nessa sequência é 2971215073 (OEIS Foundation Inc, 2024). No entanto em ambas as linguagens os números foram representados de forma imprecisa, sendo este -1323752223, indicando um overflow. O próximo tipo a demonstrar imprecisão em sua representação foi o tipo Double, em linguagem C. Esse tipo de dado representa números de ponto flutuante usando uma quantidade finita de bits para representar a mantissa e o expoente. O arredondamento ocorre porque a representação binária de números fracionários não pode ser exata para todos os valores possíveis. Algumas frações decimais não têm uma representação binária precisa e isso pode levar a arredondamentos. Com isso, a partir do 79º termo, começaram a surgir divergências. Para ilustrar, o número correspondente ao 79º termo da sequência é 14472334024676221 (OEIS Foundation Inc, 2024). No entanto, a representação em double foi 14472334024676220, ocorrendo um erro no último dígito, onde houve arredondamento de 1 para 0. A última variável a apresentar falhas de representação durante o cálculo dos primeiros 100 números foi o tipo Unsigned Long Int, em linguagem C. Essa imprecisão surgiu no 94º termo. Para contextualizar, o valor correto para o 94º termo é 19740274219868223167 (OEIS Foundation Inc, 2024). Entretanto, a representação do tipo Unsigned Long Int foi 1293530146158671551. Na Figura 3, é apresentado um gráfico que ilustra a variação de desempenho entre os diferentes tipos de variáveis no cálculo do 100º termo da sequência de Fibonacci. Este termo é representado pelo número identificado como 354224848179261915075 (OEIS Foundation Inc, 2024). O eixo das abscissas (x) denota o i-ésimo dígito do 100º termo de Fibonacci, enquanto o eixo das ordenadas (y) representa o valor do correspondente dígito no 100º termo. A análise gráfica evidencia os comportamentos distintos exibidos por cada tipo de variável em relação à representação deste número. Importante destacar que o tipo inteiro em Python não se vê limitado em termos de tamanho. Em virtude desta particularidade da linguagem Python, foi possível o cálculo preciso de todos os termos da sequência até o limiar dos 100 números. Com isso novos experimentos foram conduzidos,

abrangendo os primeiros 2000 números da sequência. Tanto em Python quanto com o uso da biblioteca GMP, foi possível representar com precisão esses 2000 números, uma vez que não houve perda de exatidão devido a limitações de tamanho de variáveis. Foi observado durante os experimentos que o tipo inteiro em Python não se vê limitado em termos de tamanho, ou seja, o tamanho de um inteiro em Python não é fixo, mas é limitado apenas pela quantidade de memória disponível no sistema. Isso é possível devido à implementação interna dos inteiros em Python (P. S. Foundation, 2023).

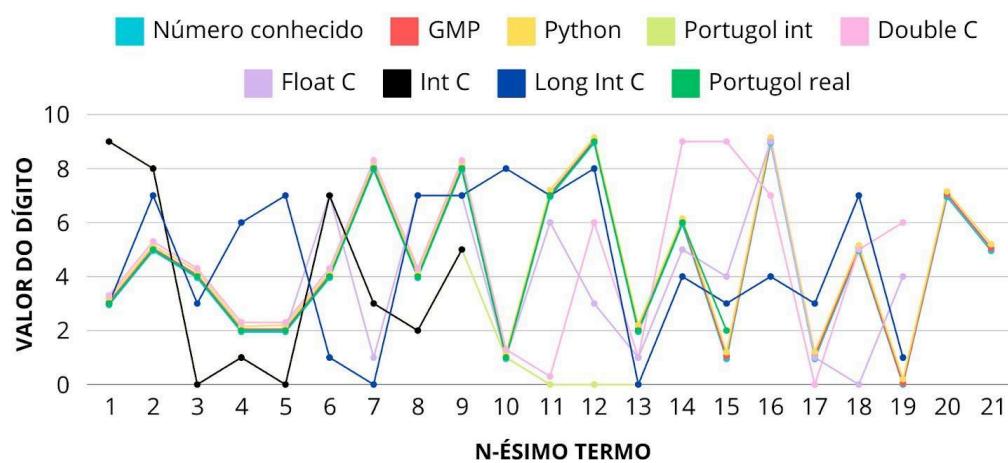


Figura 5:Gráfico representativo do 100º termo de Fibonacci

No desenvolvimento de linguagens de programação, frequentemente encontramos limitações no tamanho máximo alocado para certos tipos de variáveis, o que pode afetar a precisão das operações numéricas. A Tabela 2 ilustra a diferença entre o valor conhecido e o valor obtido para diferentes linguagens de programação e tipos de variáveis, destacando o primeiro termo com erro, o valor conhecido, o valor obtido, e as medidas de erro absoluto e erro relativo, nela observa-se que o tipo 'Float' em C apresenta o primeiro erro já no 37º termo, com um erro absoluto de 1 e um erro relativo de  $4.14 \times 10^{-8}$ . Embora o erro relativo seja muito pequeno, o fato de ocorrer

relativamente cedo indica que o tipo 'Float' tem limitações em termos de capacidade de representação para números maiores. Por outro lado, o tipo 'Inteiro' (em C e Portugol) e o tipo 'Unsigned Long Int' apresentam erros em termos mais avançados, com o tipo 'Inteiro' mostrando erros a partir do 47º termo e o 'Unsigned Long Int' a partir do 94º termo. O 'Unsigned Long Int', em particular, demonstra um erro absoluto muito significativo e um erro relativo de 14.23, indicando uma discrepância substancial na representação de números muito grandes. O tipo 'Double' em C, com erro a partir do 79º termo, exibe um erro absoluto muito pequeno e um erro relativo extremamente baixo ( $6.91 \times 10^{-16}$ ), indicando uma precisão superior em comparação com o tipo 'Float' e 'Inteiro', mas ainda assim tem uma capacidade limitada em comparação com o 'Unsigned Long Int'. No caso do Python, o tipo 'Inteiro' não apresentou erros, com erro absoluto e relativo de 0, sugerindo que o tipo 'Inteiro' do Python pode representar números grandes com precisão ideal, dado o contexto da tabela. Estes resultados sublinham a importância de selecionar o tipo de variável apropriado com base na precisão necessária para a aplicação. A escolha entre tipos de variáveis deve considerar não apenas a magnitude do erro, mas também o ponto em que os erros começam a aparecer, especialmente em cálculos que envolvem números grandes ou precisão elevada.

Linguagem	Tipo de variável	Primeiro termo com erro	Valor conhecido	Valor obtido	Erro absoluto	Erro relativo
C	Float	37º	24157817	24157816	1	$-8 \times 10^{-8}$
C	Inteiro	47º	2971215073	-1323752223	4294967296	1.448
Portugol	Inteiro	47º	2971215073	-1323752223	4294967296	1.448
C	Double	79º	14472334024676220	14472334024676220	1	$6.91 \times 10^{-16}$

C	Unsigned Long Int	94°	12935301461 58671551	197402742198 69223167	184462440 737105516 16	14.23
Python	Inteiro	não houveram erros	35422484817 9261915075	354224848179 261915075	0	0

Tabela 2 : Comparação de precisão numérica entre tipos de variáveis em diferentes linguagens de programação.

### b. Cálculo do Número $\pi$

O algoritmo de Chudnovsky proporciona uma convergência em  $\pi$  extremamente rápida, com cerca de 14 dígitos por iteração (J. Guilera, 2009), o suficiente para estourar rapidamente o espaço de memória das variáveis comuns. Foram utilizadas 5 iterações do algoritmo, com o intuito de obter 50 casas decimais com uma relativa margem de segurança, para que o algoritmo não interferisse negativamente na demonstração dos tipos de variáveis. No tipo Float, para a linguagem C, o tamanho da variável não consegue comportar partes do cálculo do algoritmo de Chudnovsky, o que fez com que o último dígito (7º dígito) recebesse um valor errado, mesmo ainda estando nos limites estabelecidos para essa variável, resultando no valor 3.141592502...2. A implementação do algoritmo de Chudnovsky utilizando o tipo Double para o cálculo de  $\pi$  é menos prejudicada pela precisão da variável. É possível obter exatamente o valor conhecido até 15º dígito, o último dígito comportado pela especificação do tipo Double, alcançando o valor de 3.141592653589793560... Em Python, existe uma tipagem dinâmica, onde não se faz necessário especificar o tipo da variável, apenas inicializar um valor sobre ela (P. S. Foundation, 2023). Porém, pela documentação da linguagem, é possível observar que os números de ponto flutuante são armazenados em um tipo denominado Float, mas que possui a mesma precisão do Double em C. Como o tamanho da variável Float em Python é o mesmo da variável Double em C, espera-se

que a precisão da mesma seja exatamente igual, que é o resultado obtido. O valor resultante do cálculo em Python é 3.141592653589793560... onde é possível notar que até o erro resultante é o mesmo. Por último, utilizando a biblioteca GMP em linguagem C, ainda com o algoritmo de Chudnovsky, porém, adaptado para a biblioteca. Foi utilizada primeiramente uma precisão de 128 bits, o dobro de uma variável Double comum, para efeitos de comparação. O valor resultante possui 38 casas decimais corretas, como pode ser observado abaixo:

3.14159265358979323846264338327950288419500...

Uma nova rodada de testes foi realizada, desta vez com 192 bits de precisão, para comprovar que o único fator limitante para o algoritmo retornar os 50 dígitos solicitados foi a precisão configurada, e o número calculado foi: 3.1415926535897932384626433832795028841971693993751...

Contendo 49 casas decimais com o valor correto. Para fins de comparação, o valor exato de  $\pi$  (R. Sedgewick & K. Wayne, 2014), com 50 dígitos é: 3.14159265358979323846264338327950288419716939937510...

Percebe-se então que há uma falha na computação do último dígito solicitado utilizando a biblioteca GMP. Após mais alguns testes, percebeu-se que ao aumentar o número de casas decimais exibidas com 192 bits de precisão, o resultado voltou a se apresentar corretamente, e novamente o último dígito estava incorreto. Após algumas pesquisas, foi possível confirmar que tal falha se trata de um erro de arredondamento da própria biblioteca, que não apresenta uma solução de arredondamento exato, problema que foi corrigido por uma biblioteca de extensão/melhoria da própria GMP, a MPFR (Multiple-Precision Binary Floating-Point Library) (L. Fousse et al., 2007).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa investigamos características de precisão e intervalo de representação de variáveis de algumas linguagens de programação e efetuamos uma comparação com a biblioteca de

precisão arbitrária conhecida como GMP. Algumas curiosidades interessantes merecem ser destacadas.

Primeiro, notamos que em termos das linguagens Portugol, C e Python, todas elas possuem limitações parecidas, com a exceção do tipo inteiro da linguagem Python, que possui uma precisão dinâmica conforme a necessidade e o armazenamento disponível (P. S. Foundation, 2023). Fora essa exceção, as linguagens possuem um intervalo de representação relativamente próximo, o que era o resultado esperado, afinal todas seguem as especificações da IEEE 754 em suas variáveis de ponto flutuante. Ademais, é possível observar que o uso da GMP ou de qualquer outra biblioteca de precisão arbitrária é útil quando necessário efetuar cálculos envolvendo muitas casas decimais e/ou inteiros muito extensos, proporcionando resultados mais precisos, sendo possível ajustar a precisão conforme necessidade. Um detalhe negativo sobre o uso da GMP é que devido ser uma biblioteca antiga, as referências encontradas estão, na maioria das vezes, defasadas. Como trabalhos futuros pretendemos dar continuidade aos experimentos comparando resultados de cálculos de constantes reais, irracionais e transcendentais, como o número de euler, dentre vários outros, por diversos métodos, a fim de comparar quando é mais interessante o uso de cada método de cálculo e qual precisão necessária para utilizar cada um. Também é de nosso interesse investigar e comparar a eficiência de outras bibliotecas de precisão arbitrária como a MPFR, que além de permitir alterações de precisão, proporciona um arredondamento correto do número (L. Fousse et al., 2007).

## REFERÊNCIAS

D. H. Bailey, R. Barrio, e J. M. Borwein, "High-precision computation: Mathematical physics and dynamics," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 218, no. 20, pp. 10 106-10 121, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0096300312003505>>. Acesso em: 16 jul. 2023.

- D. W. Brzeziński and P. Ostalczyk, "Numerical calculations accuracy comparison of the inverse laplace transform algorithms for solutions of fractional order differential equations," *Nonlinear dynamics*, vol. 84, pp. 65-77, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/280013074\\_Numerical\\_Calculations\\_Accuracy\\_Comparison\\_of\\_the\\_Inverse\\_Laplace\\_Transform\\_Algorithms\\_for\\_Solutions\\_of\\_Fractional\\_Order\\_Differential\\_Equations](https://www.researchgate.net/publication/280013074_Numerical_Calculations_Accuracy_Comparison_of_the_Inverse_Laplace_Transform_Algorithms_for_Solutions_of_Fractional_Order_Differential_Equations)>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- DAWSON, R. Programming in ANSI C, Loughborough University, 1 jan. 2001. Disponível em: <[https://repository.lboro.ac.uk/articles/book/Programming\\_in\\_ANSI\\_C/9405848](https://repository.lboro.ac.uk/articles/book/Programming_in_ANSI_C/9405848)>. Acesso em: 16 jul. 2023
- E. H. Iwao, "Pi in the sky: Calculating a record-breaking 31.4 trillion digits of archimedes' constant on google cloud". Disponível em: <<https://cloud.google.com/blog/products/compute/calculating-31-4-trillion-digits-of-archimedes-constant-on-google-cloud>>. Acesso em: 09 jul. 2023.
- FOUSSE, L *et al.* Mpfr: A multiple-precision binary floating-point library with correct rounding. *ACM Trans. Math. Softw.*, vol. 33, no. 2, p. 13-es, jun. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1236463.1236468>. Acesso em: 27 ago. 2023
- G. Yarmish and J. Yarmish, "Finding large primes," *Utilitas Mathematica*, vol. 114, Mar. 2020. Disponível em: <<https://utilitasmathematica.com/index.php/Index/article/view/1510>>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- GOLDBERG, D. "What every computer scientist should know about floating-point arithmetic." Association for Computing Machinery, Inc., 1991. Disponível em: <<https://pages.cs.wisc.edu/~david/courses/cs552/S12/handouts/goldberg-floating-point.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- KERNIGHAN, B. W; RITCHIE, D. M. "The C Programming Language", 2. ed. Prentice Hall Professional Technical Reference, 1988. "Oeis sequence a000045: Fibonacci numbers." Online Encyclopedia of Integer Sequences. Disponível em: <https://oeis.org/A000045/b000045.txt>. Acesso em: 12 set. 2023.
- Python Software Foundation. (2023). Python 3.11.4 documentation. Disponível em: <https://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#typesnumeric>. Acesso em: 19 set. 2023.
- SEGEWICK, R; WAYNE, K. First 1 million digits of pi. Disponível em: <https://introcs.cs.princeton.edu/java/data/pi-1million.txt>. Acesso em: 01 out. 2023.

## FINANCIAMENTO

"O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil".

## Capítulo 15

# DESENVOLVIMENTO TÁTICO PARA A EQUIPE IBOTS DE FUTEBOL DE ROBÔS DA CATEGORIA DE SIMULAÇÃO 2D UTILIZANDO O AGENTE TREINADOR

Érick Santos Marçal<sup>1</sup>  
Tanilson Dias dos Santos<sup>2</sup>

### RESUMO

Nesta pesquisa, foi investigado o uso de algoritmos inteligentes e análise de dados para a escalação de jogadores na categoria de simulação 2D de futebol de robôs da RoboCup. A pesquisa é uma continuação dos trabalhos anteriores da equipe iBots, com foco no desenvolvimento de um agente treinador capaz de coletar dados dos jogadores e das partidas para tomar decisões táticas durante os jogos. Foram desenvolvidos algoritmos de coleta de dados, um sistema de avaliação de jogadores com base em suas características heterogêneas e um modelo de rede neural para prever a posição mais adequada de cada jogador. Os resultados preliminares indicam que as características dos jogadores impactam significativamente os resultados das partidas, embora a rede neural tenha apresentado desempenho inferior em comparação aos algoritmos determinísticos. O trabalho contribui para o avanço no uso de inteligência artificial em decisões táticas no futebol de robôs e abre caminho para aprimoramentos futuros.

**Palavras-chave:** futebol de robôs; agente treinador; rede neural.

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciência da Computação, Pibic/Pivic, Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, santos.erick@mail.uft.edu.br.

<sup>2</sup> Doutor em PESC - Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Pibic/Pivic, Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, tanilson.dias@mail.uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

O futebol de robôs é uma competição de robótica disseminada e fomentada pela *RoboCup*, dessa forma se enquadra como uma iniciativa científica internacional que visa avançar o estado da arte em robôs inteligentes (ROBOCUP, 2024a). Existem várias ligas com diferentes propósitos, divididas em categorias de robôs físicos e simulados. A RoboCup, desde sua criação em 1993, utiliza o jogo de futebol para promover ciência e tecnologia, uma ideia que nasceu no 'Workshop on Grand Challenges in Artificial Intelligence' (Workshop sobre Grandes Desafios em Inteligência Artificial) (ROBOCUP, 2024b).

O futebol de robôs se institui, assim, como um novo problema padrão, com o objetivo final de vencer até a metade do século 21, a equipe campeã da Copa do Mundo da FIFA (ROBOCUP, 2024c), semelhante ao xadrez no passado. Enquanto o xadrez foi resolvido com a vitória do *Deep Blue* sobre Garry Kasparov, campeão mundial de xadrez (ROBOCUP, 2024b), surge agora o desafio de desenvolver tecnologias para a próxima geração.

Segundo Ensmenger (2012), o xadrez é frequentemente visto como a 'drosófila' da inteligência artificial, uma metáfora para algo simples, mas essencial para o avanço de conhecimento em sistemas mais complexos.

A *RoboCup Soccer Simulation League 2D*, foco deste trabalho, simula um ambiente bidimensional parcialmente observável e estocástico, onde 22 agentes em campo (11 jogadores por equipe) e dois agentes treinadores online (um por equipe) tomam decisões. O jogo, realizado em um ambiente criado pela *RoboCup*, impõe diversas condições para aumentar o realismo e a complexidade da simulação, incluindo inserção de ruído na informação recebida pelos agentes e restrições no campo visual e na comunicação (THE ROBOCUP SOCCER SIMULATION, 2024).

Cabe às equipes participantes desenvolver estratégias e treinar seus agentes. A infraestrutura da *RoboCup Federation* oferece suporte

para a interação com o jogo no formato 2D, utilizando comunicação via *sockets UDP* e transmitindo a partida em tempo real, com regras semelhantes ao futebol humano (THE ROBOCUP SOCCER SIMULATION, 2024).

O curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Tocantins apresentou a equipe iBots em competições nacionais e internacionais, alcançando boas colocações nos eventos em que participaram (SILVA, 2009; FERREIRA, 2010; DA SILVA et al., 2010, 2011; DOS SANTOS, 2011; SILVA et al., 2012; DA SILVA, 2012; SILVA et al., 2015; SILVA; SANTOS, 2016).

Nesta pesquisa, propomos o estudo e a investigação de problemas intrínsecos do futebol de robôs na simulação 2D, com foco no agente treinador. Diante disso, o desenvolvimento desta pesquisa segue como uma continuação dos trabalhos anteriores da equipe iBots, além do trabalho recente de SOUZA et al. (2023), no qual esta pesquisa é uma continuação direta, entretanto com uma abordagem diferente, com apresentação de resultados do desenvolvimento de coleta de dados dos jogos, esquema tático, algoritmos para escalação de jogadores, aplicação para visualização dos dados e como estas podem influenciar o desenvolvimento de conceitos, esquemas táticos e estratégias para a equipe.

## MÉTODO E MATERIAIS

Este estudo emprega uma metodologia híbrida, combinando abordagens experimental, exploratória e bibliográfica para investigar o comportamento e as táticas do agente treinador no contexto do futebol simulado em 2D. A pesquisa experimental é adequada porque permite a manipulação de variáveis nas simulações, como o desempenho e as táticas do agente treinador, para observar os efeitos de diferentes estratégias em um ambiente controlado e coletar dados empíricos. Simultaneamente, a pesquisa exploratória é necessária devido à escassez de estudos detalhados sobre o comportamento do

agente treinador na simulação 2D, permitindo a descoberta de novos fenômenos e relações que ainda não foram amplamente abordados. A revisão bibliográfica, por sua vez, oferece uma base sólida para o estudo, relacionando a pesquisa atual ao estado da arte em sistemas multi-agentes e estratégias táticas no futebol de robôs, permitindo uma análise fundamentada dos dados experimentais.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram explorados temas centrais como a coleta de dados em partidas de futebol 2D, o uso de esquemas táticos e a aplicação de inteligência artificial para a escalação de jogadores. Trabalhos anteriores da equipe iBots, por exemplo, já investigaram o uso de redes neurais artificiais, como o *perceptron* de múltiplas camadas, para ajustar dinamicamente as táticas com base em estatísticas fornecidas pelo agente treinador (FERREIRA, G. B). Além disso, outras equipes, como a RoboCIn (ROBOCIN, 2023) e a Titan of Robotics (TITANS OF ROBOTICS, 2019), apresentaram avanços no uso de formações adaptativas e algoritmos genéticos, respectivamente, para melhorar o desempenho tático. No entanto, percebe-se que o agente treinador, com seu potencial de realizar alterações tanto pré-jogo quanto durante a partida, ainda é um tema pouco explorado na simulação 2D.

Diante disso, foram aproveitadas implementações das equipes anteriores da iBots, em relação ao agente treinador, mantendo a continuidade no estudo. Por isso, foi mantido o uso do time-base *agent2D* (AKIYAMA; NAKASHIMA, 2014), que é uma equipe de amostra para que novos pesquisadores possam ter uma base sólida para iniciar suas pesquisas na liga 2D. A *agent2D* é uma equipe competitiva básica, no qual possui agentes jogadores que possuem habilidades implementadas para interceptar, driblar, passar e chutar com base na situação de jogo. A implementação do agente treinador da *agent2D*, por sua vez, é responsável pela escalação e substituições dos jogadores durante as partidas.

Para efeito exploratório, foram revisadas as funções básicas

implementadas do agente treinador, estas que utilizam a capacidade do agente em capturar informações da simulação. No caso da escalação inicial, que é realizada coletando uma característica dos jogadores, a velocidade real, e selecionando os jogadores mais rápidos do time para uma ordem não-crescente pré-definida (pela velocidade), ou seja, é um algoritmo determinístico, o que significa que, dadas as mesmas entradas, ele sempre produzirá a mesma saída. As substituições dos jogadores no decorrer da partida são implementadas também por um algoritmo determinístico, de modo que os jogadores mais cansados são substituídos pelos jogadores reservas mais rápidos.

Além disso, experimentos com alteração na formação tática foram realizados, com alteração da formação inicial de 433, que pode ser vista na figura 2, para formação 541 (cinco defensores, quatro meio-campistas e um atacante), ilustrada no apêndice A. Para a alteração da formação, foi utilizado o software *fedit2*.

### Coleta e estruturação de dados

Como continuação dos trabalhos anteriores da equipe iBots, vários algoritmos relacionados à coleta de dados pelo agente treinador foram mantidos, como: contador de faltas, escanteios, finalizações ao gol e no geral, faltas, distância percorrida pelos jogadores, tempo de posse de bola e time com a posse da bola (FERREIRA, G. B). No entanto, percebeu-se que nos trabalhos anteriores, estas informações não estavam estruturadas de forma coerente para uma análise posterior. Portanto, foi escolhido o formato *JavaScript Notation Object*, ou simplesmente JSON, para estruturar os dados. O formato JSON é amplamente utilizado em protocolos de comunicação de internet por se tratar de um formato leve e intuitivo, funcionando na estrutura de chave e valor. Para a implementação, foi utilizada a biblioteca *JSON for Modern C++* (NLOHMANN, 2024), que por conta de sua versatilidade, ao ser codificada em um único arquivo, foi escolhida pela facilidade na integração. A implementação foi realizada com a criação de um arquivo

de especificação e implementação (formato .hpp), no qual este foi escolhido também devido à facilidade de utilização. Este arquivo é utilizado no agente treinador de forma que a cada ciclo da simulação, as informações serão escritas em um arquivo de saída JSON. Desse modo, as informações que antes eram gravadas em um arquivo de texto sem estrutura (formato .txt), são escritas em formato estruturado que pode ser usado por ferramentas externas que facilitam a análise.

### Ferramenta para análise e visualização de dados

As partidas de futebol de robôs 2D, realizadas pelo servidor oficial da *RoboCup*, geram, a cada partida, arquivos de logs, isto é, arquivos de registros de eventos. O servidor, por padrão, gera dois arquivos ao realizar uma partida: rcl (*Recording Command Log*) e rcg. Enquanto o primeiro arquivo registra todos os comandos utilizados pelos agentes na partida, o segundo arquivo (rcg) inclui todos os eventos que aconteceram na partida, de modo que, com este arquivo, é possível assistir a partida com o software de monitor padrão ou de terceiros.

Devido a este arquivo gerado, há uma grande quantidade de dados, de modo que estes não são estruturados para análise. Dessa forma, para obter uma análise precisa, as equipes da liga desenvolvem suas próprias ferramentas de mineração de dados, ou seja, programas que leem este arquivo de log e geram um arquivo estruturado para análise (OPUSYMCOMP, 2024; ZENOYANG, 2024; DARK-0NE, 2024, GUAN et al., 2021). No entanto, por mais que sejam arquivos estruturados, não entregam informações resumidas para o desenvolvedor, e por isto, estes desenvolvem ferramentas de visualização de dados (PEREIRA et al., 2020; PEREIRA et al., 2023).

Sendo assim, para continuação no fluxo de pesquisa, saindo da modelagem e estruturação, para a visualização, foi desenvolvido uma ferramenta para análise dos dados estruturados no formato JSON. Inicialmente, a linguagem de programação C++ foi escolhida para ser utilizada na construção da ferramenta, por conta de ser a mesma

linguagem utilizada no servidor, monitor e equipe da iBots. No entanto, devido à curva de aprendizado da linguagem, a mesma foi abandonada. Deste modo, foi escolhida uma linguagem fácil e já conhecida, a linguagem *Python*, que é a mais utilizada para análise e visualização de dados. Dentro da linguagem, há várias bibliotecas que favorecem a criação de uma ferramenta específica de análise, de modo que a escolhida foi a biblioteca *Streamlit*, ferramenta para construção de aplicações de dados, no qual com poucas linhas de código, é possível ter um servidor web local (um site) (STREAMLIT, 2024).

A ferramenta foi inicialmente desenvolvida seguindo três bases: a estrutura do arquivo JSON gerado pelo agente treinador; um arquivo csv, que é gerado pelo servidor, porém, esta opção não é ativada por padrão e; um arquivo csv gerado por uma ferramenta de mineração de logs (OPUSYMCOMP, 2024). Todo o desenvolvimento seguiu-se de forma profissional: utilização de versionamento de código, hospedagem de código-fonte, declaração e isolamento de dependências e modularização de arquivos, seguindo a estrutura padrão do *Streamlit* para aplicações de múltiplas páginas. Ademais, conforme o desenvolvimento de novas funções de coleta de dados foi prosseguindo, o desenvolvimento da ferramenta para lidar com estes dados também foi evoluindo.

### Sistema de avaliação dos jogadores

No futebol, os treinadores escolhem os jogadores que iniciarão a partida conforme a qualidade de cada um para uma posição específica. No futebol de robôs, conforme visto, não há uma área de pesquisa desenvolvida no que tange esse problema, assim como um sistema de avaliação dos

jogadores, no qual é importante se ter em um ambiente de simulação 2D como o futebol de robôs, devido sua natureza dinâmica e distribuída.

Para avaliação dos jogadores, foram consideradas as posições

estabelecidas no time base *agent2D*, sendo estabelecido que jogadores de uma mesma posição devem ter o mesmo peso. Devido a necessidade de estatísticas individuais dos jogadores para poder avaliá-los, algumas funções de coleta de dados foram adaptadas. As estatísticas coletadas de cada jogador são: tempo de posse de bola, passes certos e errados, precisão de passes, cartões amarelos, estamina, finalizações, gols, distância percorrida, interceptações ou roubadas de bola. Dentre estas, as funções que retornam a quantidade de cartão amarelo e estamina por jogador são implementadas pelo próprio time base. Enquanto que posse de bola e distância percorrida por jogador foram implementadas nas versões anteriores da *iBots*. Portanto, as estatísticas relacionadas a passes, finalizações, gols e interceptações ou roubadas de bola, foram coletadas por meio de funções autorais desenvolvidas. A figura 1 contém a fórmula que representa o processo de avaliação do jogador.

$$\text{score}(i) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{X_{\text{jog},i} - X_{\text{min},i}}{X_{\text{max},i} - X_{\text{min},i}} + w_{\text{stamina}} \cdot P_{\text{estamina}}$$

Figura 1 - Fórmula de avaliação do jogador

Na fórmula, o jogador é representado por  $i$ , no qual cada posição de jogador tem seu peso  $w$  diferente para cada estatística  $X$ . Toda estatística, exceto a estamina, é normalizada para uma escala comum, entre 0 e 1. No final, é realizado um somatório dos pesos multiplicados pela escala, exceto que a estamina é multiplicada por uma penalidade.

Juntamente com a implementação do algoritmo de avaliação, foi desenvolvido funções de escrita dos dados gerados. Uma função serve para depuração, no qual as características dos jogadores são escritas em tempo real, para permitir que seja verificado se a coleta está sendo precisa. Uma outra função parecida foi desenvolvida, mas ao invés de listar as características, é a pontuação final que é escrita em tempo real. Por fim, um arquivo csv é gerado no final da partida com as características absolutas e a pontuação final do jogador.

## Algoritmo de escalação de jogadores determinístico (Análise Exploratória de Dados)

Dante da simplicidade do algoritmo padrão para escalação de jogadores do *agent2D*, houve um interesse na exploração de soluções parecidas de forma que houvesse uma análise no quanto que as características heterogêneas influenciam o desempenho da equipe.



Figura 2 - Formação padrão do *agent2D*

Para a escalação, o *agent2D* utiliza apenas a característica de velocidade, atribuindo os jogadores mais rápidos para uma pré-definida, no que se segue: Centroavante (11), Zagueiros (2 e 3), Ponta-Direita (10), Ponta-Esquerda (9), Volante, ou Meia Defensivo (6), Lateral Esquerdo (4), Lateral Direito (5), Meias Centrais (7 e 8). É possível observar que a ordem de prioridade considera os jogadores que mais necessitam ser rápidos, como o responsável por marcar gols (11) e os responsáveis pela defesa (2 e 3), enquanto isso, os jogadores que estão mais seguros em campo, pois servem como jogadores de ligação, os Meias Centrais, estão em últimos na ordem de prioridade.

Portanto, para aumentar a quantidade de características utilizadas para a escalação, foi desenvolvido uma função que atribui para posições específicas os jogadores com certas habilidades.

Tabela 1 - Relação entre posições e características utilizadas por ordem de prioridade

Posição (Numeração do jogador)	Característica	Descrição
Centroavante (11)	realSpeedMax	velocidade máxima que pode ser alcançada
Zagueiro (2 e 3)	staminalncMax	Incremento máximo de stamina para o jogador
Laterais (4 e 5)	realSpeedMax	velocidade máxima que pode ser alcançada
Pontas (9 e 10)	inertiaMomentum	momento de inércia, quanto maior o momento de inércia, mais difícil alterar sua direção
Volante (6)	staminalncMax	incremento máximo de stamina para o jogador
Meio-campistas centrais (7 e 8)	kickableMargin	tamanho (raio) da área de chute

Fonte: Do autor.

Rede Neural de Feedforward com Single-Layer Perceptron para escalação de jogadores

Dado que a implementação considerando apenas certas características para a escalação limita o agente treinador em relação à sua capacidade total, foi implementada uma rede neural artificial do tipo feedforward para realizar a escalação, configurando assim um algoritmo inteligente. A finalidade de tal escolha é aproveitar ao máximo a capacidade do agente treinador de coletar informações sobre os jogadores e eventos da partida. Assim, o intuito é que, a partir de determinada entrada (conjunto de características dos jogadores), o agente treinador possa prever a posição mais adequada para o jogador.

Utilizando as implementações de coleta de dados, o agente treinador avalia os jogadores conforme suas estatísticas e características. A rede neural foi treinada com base em um conjunto de dados heterogêneos de jogadores, associando essas características

com a avaliação (pontuação)

obtida na posição em que foram escalados. A rede neural, do tipo feedforward, processa as entradas (14 características dos jogadores) e retorna a previsão da posição mais adequada para o jogador (HAYKIN, 1999; GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016).

Para garantir que as diferentes características fossem comparáveis entre si, os dados foram normalizados antes de serem processados pela rede neural, conforme a abordagem recomendada por LECUN et al. (1998). Essa normalização permite que o impacto de cada característica no treinamento da rede seja equilibrado, evitando que valores de grande magnitude dominem o processo de otimização.

O treinamento da rede neural foi realizado utilizando o algoritmo de gradiente descendente, que ajusta os pesos e bias da rede com base no erro entre a posição prevista e a posição real, conforme descrito por RUDER (2016). Adicionalmente, foi aplicada uma regularização sobre os pesos da rede para evitar o *overfitting* e melhorar a generalização do modelo.

## DADOS E DISCUSSÃO

Com a relação entre alguns métodos desenvolvidos neste trabalho: a coleta de dados estruturados em arquivos JSON e a ferramenta de visualização de dados, provaram-se como excelentes ferramentas para análise, de forma que é possível facilmente verificar dados gerais de dezenas de partidas de uma maneira resumida.

Os resultados obtidos pelo algoritmo de escalação de jogadores determinístico, representado pela Tabela 1, permitiu visualizar que uma alteração na escalação de jogadores pode ter resultados mais positivos do que alteração na formação dos jogadores, aumentando a porcentagem de vitórias de 10%, da formação 541 para 30% com o algoritmo apresentado, apesar das divergências dos números de jogos executados. Desta forma, percebe-se a importância e impacto das características dos jogadores em relação ao resultado das partidas,

mesmo que de forma negativa, com um aproveitamento inferior ao da equipe oponente, o próprio *agent2D*. Além disso, é possível perceber quanto o posicionamento dos jogadores, isto é, a formação tática, pode impactar enormemente os resultados das partidas.

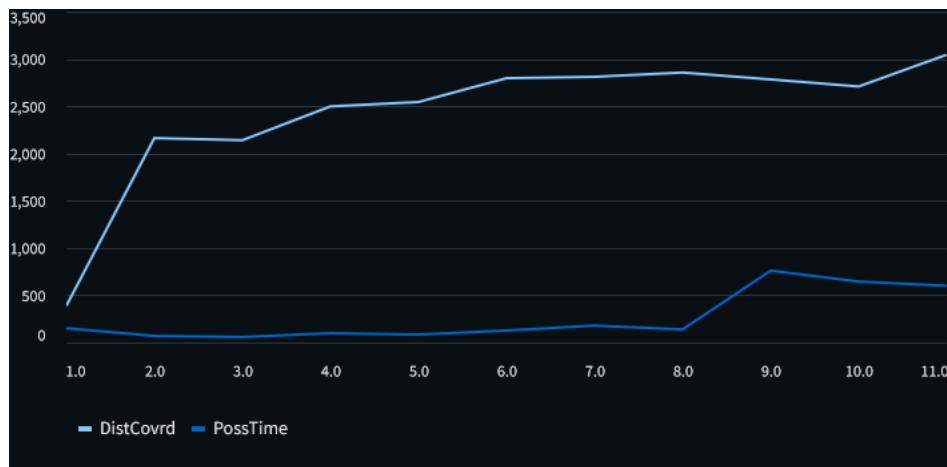


Figura 3 - Média de distância percorrida e tempo de posse de bola por jogadores

Ao fazer a análise exploratória dos dados, é possível perceber na Figura 3 que os jogadores atacantes (9, 10 e 11) passam muito mais tempo com a posse da bola, enquanto que os jogadores defensivos passam menos tempo com a bola do que o goleiro (1).

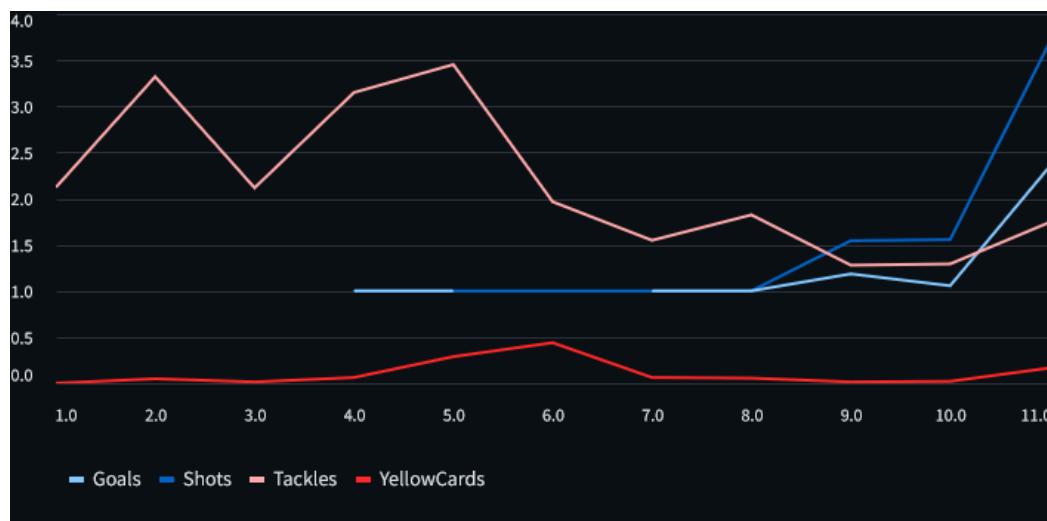
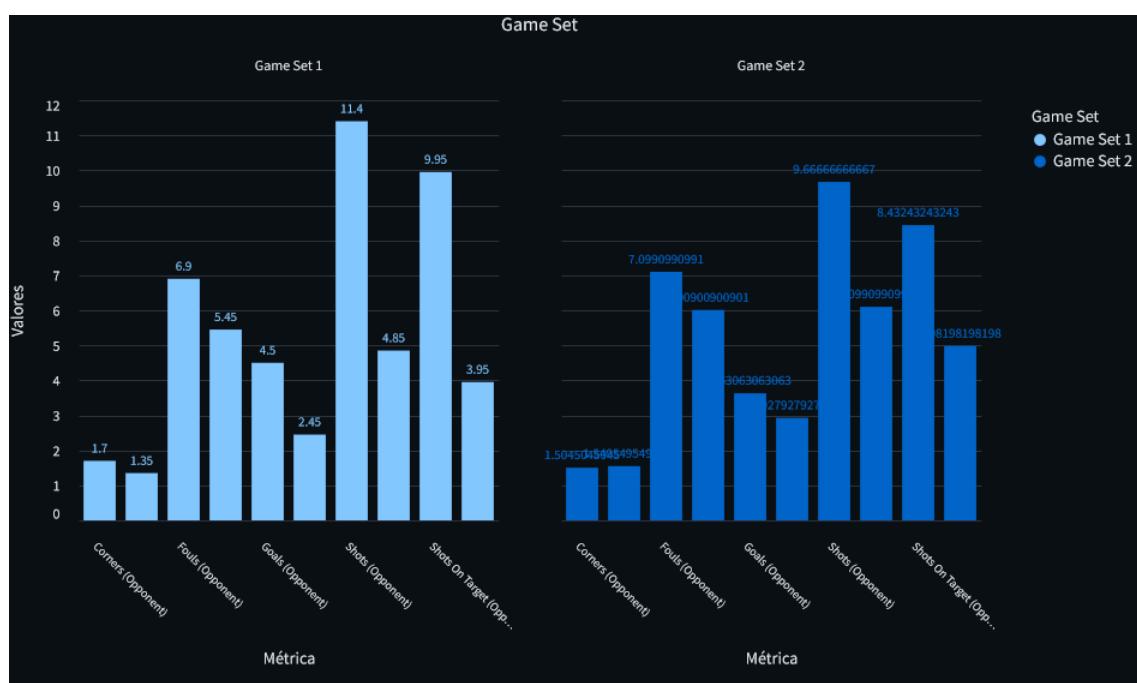


Figura 4 - Relação entre gols, chutes, interceptações e cartões amarelos por jogadores

Na figura 4, a maior parte dos gols e chutes passam pelo jogador centroavante (11), enquanto que as interceptações são mais frequentes em jogadores defensivos como o zagueiro (2) e os laterais (4 e 5). Por fim, percebe-se que a análise exploratória é útil para a verificação de como as implementações impactam o desempenho de cada jogador.

Em relação à rede neural desenvolvida, pode-se perceber a escassez de pesquisas relacionadas à escalação de jogadores por meio de algoritmos inteligentes, devido à dificuldade que é desenvolver esse tipo de pesquisa, considerando o tempo de simulação das partidas e a falta de variação nos dados, o que faz com que o aprendizado não seja tão efetivo.

Na figura 5, é possível perceber que não há diferenças consideráveis nas médias das simulações executadas com o algoritmo representado pela Tabela 1. O “Game Set 1”, com os jogos executados com a rede neural, no entanto, há uma diferença nos fatores mais importantes, que são os gols, no qual a rede neural teve uma diminuição de 16% no número de gols da iBots e um aumento de 24% nos gols da equipe oponente, em relação ao primeiro algoritmo. Essa diferença importante reflete-se na quantidade de vitórias que estava em 30,4%, mas caiu para 15% para a rede neural.



### Figura 5 - Comparativo entre algoritmo com rede neural

Por fim, percebe-se, pelos resultados que um algoritmo com características pré-definidas mostrou-se mais performático do que a rede neural, concluindo assim, que nem sempre uma abordagem inteligente tem o resultado esperado, no qual seria uma performance maior.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram desenvolvidos e aplicados diferentes algoritmos, incluindo uma rede neural, para o agente treinador da equipe iBots na simulação 2D de futebol de robôs. Embora a rede neural tenha sido introduzida como uma abordagem promissora para automatizar a escalação de jogadores com base em suas características, os resultados não indicaram uma melhora significativa em relação aos métodos heurísticos previamente utilizados.

Um dos principais desafios enfrentados durante o desenvolvimento foi a limitação de recursos computacionais para realizar a simulação de uma grande quantidade de jogos, o que exigiu longos períodos de tempo. Além disso, a falta de documentação acessível e atualizada das ferramentas utilizadas dificultou o processo de desenvolvimento, criando barreiras para a integração de novos algoritmos de forma eficiente.

Apesar dessas dificuldades, as análises realizadas confirmam que as características dos jogadores têm uma influência importante sobre o desempenho geral da equipe nas partidas. A coleta de dados aprimorada, junto à visualização das métricas dos jogadores e dos jogos, permitiu um entendimento mais profundo sobre como diferentes combinações de características impactam o sucesso tático em campo.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento da rede neural, explorando técnicas mais avançadas de ajuste fino, como redes

neurais profundas ou aprendizado por reforço, além de testar modelos táticos mais sofisticados. Outra linha promissora seria o desenvolvimento de métodos de aprendizado híbridos, que combinem heurísticas com aprendizado de máquina. Além disso, a melhoria na infraestrutura para realizar as simulações de forma mais eficiente e a atualização da documentação das ferramentas utilizadas podem facilitar e acelerar o desenvolvimento de futuros projetos.

## REFERÊNCIAS

- AKIYAMA, Hidehisa; NAKASHIMA, Tomoharu. *HELIOS Base: an open source package for the RoboCup Soccer 2D Simulation*. In: BEHNKE, Sven; VELOSO, Manuela; VISSER, Arnoud; XIONG, Rong (ed.). RoboCup 2013: Robot World Cup XVII. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer Verlag, Berlin, 2014. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-44468-9\\_46](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-44468-9_46).
- DA SILVA, A. T. R.; DA SILVA, H. G.; GONÇALVES SANTOS, E.; FERREIRA, G. B.; DOS SANTOS, T. D.; SILVA, V. S. iBots 2010: descrição do time. *Latin American Robotics Competition*. São Bernardo do Campo – SP, 2010.
- DA SILVA, A. T. R.; FERREIRA, G. B.; DOS SANTOS, T. D.; SILVA, V. S.; SANTOS, E. G.; DA SILVA, H. G.; RODRIGUES, C. A. d. S. P; ARRUDA, T. d. S. iBots 2011: descrição do time. *Competição Brasileira de Robótica*. São João Del Rei - MG, 2011.
- DA SILVA, V. S. *Implementação de um Sistema de Aprendizado por Reforço para Aprimoramento de Passes na Equipe iBots de Futebol de Robôs Simulados 2D*. Monografia (Graduação em Ciência da Computação). Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2012.
- DARK-0NE. *RcssAnalyzer*. Disponível em: <https://github.com/dark-0ne/RcssAnalyzer>. Acesso em: 08 set. 2024.
- DOS SANTOS, T. D. *Jogadas coletivas por meio de comunicação multi-agente para a equipe iBots da categoria de simulação 2D da RoboCup*. Monografia (Graduação em Ciência da Computação). Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2011.
- ENSMINGER, N. Is chess the drosophila of artificial intelligence? A social

history of an algorithm. *Social Studies of Science*, v. 42, n. 1, p. 5-30, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0306312711424596>. Acesso em: 8 set. 2024.

FERREIRA, G. B. *Uso dinâmico de esquemas táticos com redes neurais Perceptron de múltiplas camadas na equipe iBots de futebol de robôs simulados*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO, 2010.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. *Deep learning*. MIT Press, 2016.

GUAN, Linsheng; CHEN, Qiuna; SHI, Zengcheng; LV, Wenlong; CHEN, Shengbing. *MT2021: Team Description Paper*. Disponível em: [https://rcsoccersim.github.io/robocup2021/TDP/TDP\\_MT2021.pdf](https://rcsoccersim.github.io/robocup2021/TDP/TDP_MT2021.pdf). Acesso em: 08 set. 2024.

HAYKIN, S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. 2. ed. Prentice Hall, 1999.

LECUN, Y.; BOTTOU, L.; BENGIO, Y.; HAFFNER, P. *Gradient-based learning applied to document recognition*. Proceedings of the IEEE, v. 86, n. 11, p. 2278-2324, 1998.

NLOHMANN. *JSON for Modern C++*. Disponível em: <https://github.com/nlohmann/json>. Acesso em: 08 set. 2024.

OPUSYMCOMP. *Loganalyzer3*. Disponível em: <https://github.com/opusymcomp/loganalyzer3>. Acesso em: 08 set. 2024.

PEREIRA, Felipe N. A.; et al. *A Data Analysis Graphical User Interface for RoboCup 2D Soccer Simulation League*. 2020 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2020 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2020 Workshop on Robotics in Education (WRE), 2020, p. 1-6.

PEREIRA, Felipe; SOARES, Mateus; CONCEIÇÃO, Olavo; ALVES, Tales; GONÇALVES, Tiago; SILVA, José; ING REN, Tsang; DE MATTOS NETO, Paulo; BARROS, Edna. *A Library and Web Platform for RoboCup Soccer Matches Data Analysis*. In: RoboCup Symposium, Springer, 2023. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-28469-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-28469-4_15). Acesso em: 08 set. 2024.

ROBOCIN. *RobôCIn Team Description Paper 2023*. Santos, Cristiano et al.

- Disponível em:  
<https://tdp.robocup.org/wp-content/uploads/tdp/robocup/2023/robocupsoccer-simulation-2d/robocin-429/robocup-2023-robocupsoccer-simulation-2d-robocinlb0KopVX9H.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.
- ROBOCUP. RoboCup Soccer Simulation League Home. Disponível em: <https://ssim.robocup.org/>. Acesso em: 8 set. 2024.
- ROBOCUP. A Brief History of RoboCup. Disponível em: [http://www.robocup.org/a\\_brief\\_history\\_of\\_robocup](http://www.robocup.org/a_brief_history_of_robocup). Acesso em: 8 set. 2024.
- ROBOCUP. Objective. Disponível em: <http://www.robocup.org/objective>. Acesso em: 8 set. 2024.
- ROSSINI, A. T. *Análise de conceitos táticos do futebol por meio de simulação computacional*. Tese (Doutorado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Rio de Janeiro, 2015.
- RUDER, S. *An overview of gradient descent optimization algorithms*. arXiv preprint, arXiv:1609.04747, 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1609.04747>. Acesso em: 08 set. 2024.
- SILVA, A. T. R.; RODRIGUES, C. A. d. S. P.; JARDIM, V. P.; NASCIMENTO, R. A.; SILVA, V. S.; RODRIGUES, H. B. iBots 2012: descrição do time. *Latin American Robotics Competition*. Fortaleza - CE, 2012.
- SILVA, A. T. R.; SANTOS, T. D. iBots 2016: descrição do time. *Sistema Olímpico*, p. 4, 2016.
- SILVA, A. T. R.; SANTOS, T. D.; CARVALHO, L. A. V.; RODRIGUES, H. B.; MARQUES, N. S. iBots 2015: descrição do time. *Sistema Olímpico*, p. 4, 2015.
- SOUZA, E. et al. (2023). *Progressos no posicionamento tático do time iBots baseado em características heterogêneas para a categoria de simulação 2D da RoboCup*. Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics, v. 4, n. 2, p. 73-76, out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20873/uft.2675-3588.2023.v4n2.p73-76>.
- STREAMLIT. *Streamlit Documentation*. Disponível em: <https://docs.streamlit.io/>. Acesso em: 08 set. 2024.
- TITANS OF ROBOTICS. *Titans of Robotics Soccer Simulation 2D Team Description Paper 2019*. Costa, Alexandre F. et al. Disponível em: <https://tdp.robocup.org/wp-content/uploads/tdp/robocup/2019/robocupsoccer-simulation-2d/robocin-429/robocup-2019-robocupsoccer-simulation-2d-robocinlb0KopVX9H.pdf>.

psoccer-simulation-2d/titas-da-robotica-86/robocup-2019-robocupssoccer-simulation-2d-titas-da-roboticaBNn6OFSPlc.pdf. Acesso em: 08 set. 2024.

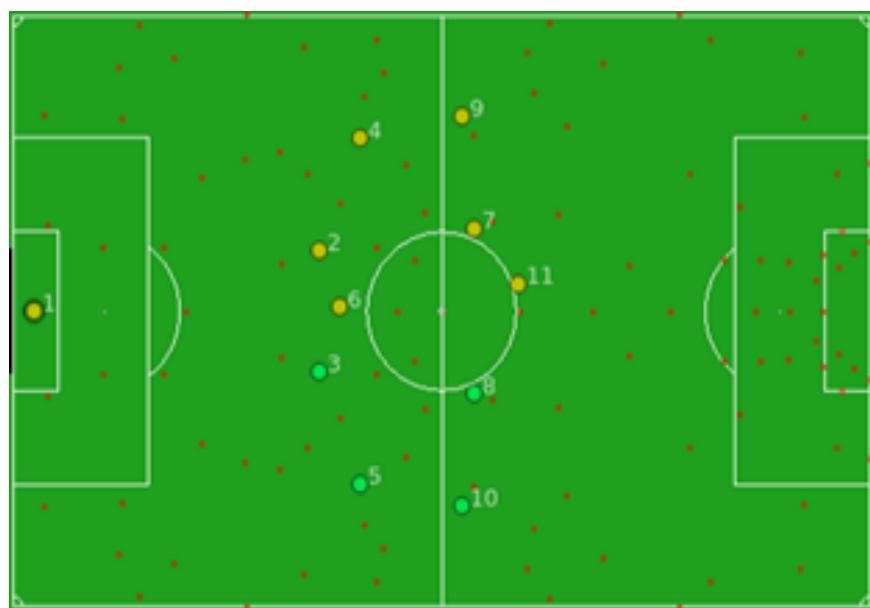
THE ROBOCUP SOCCER SIMULATION. Overview. Disponível em: <https://rcsoccersim.readthedocs.io/en/latest/overview.html>. Acesso em: 08 set. 2024.

ZENOYANG. *2DLogMining*. Disponível em: <https://github.com/zenoyang/2DLogMining>. Acesso em: 08 set. 2024.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

## APÊNDICE A - FORMAÇÃO 541



## Capítulo 16

# AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO INSETICIDA TIAMETOXAM SOBRE ORGANISMOS AQUÁTICOS DE DOIS NÍVEIS TRÓFICOS

Carlos Eduardo de Oliveira Silva<sup>1</sup>  
Vanessa Bezerra Menezes de Oliveira<sup>2</sup>

### RESUMO

O aumento da produtividade agrícola, impulsionado pelo uso intensivo de agrotóxicos, trouxe preocupações quanto aos impactos ambientais, especialmente em ecossistemas aquáticos. No Brasil, maior consumidor de agrotóxicos do mundo, destaca-se o uso dos neonicotinóides, como o tiame toxam, amplamente aplicado em culturas como arroz, milho e tomate. Esse composto, altamente tóxico para insetos, pode atingir corpos d'água por meio da deriva e do escoamento superficial, prejudicando organismos aquáticos como algas, microcrustáceos e peixes. Entre esses organismos, as microalgas são fundamentais para a base da cadeia alimentar aquática e altamente sensíveis a contaminantes. Alterações no seu crescimento podem desencadear efeitos negativos em níveis tróficos superiores. Diante disso, o presente estudo avaliou os efeitos do tiame toxam sobre a microalga *Raphidocelis subcapitata*, utilizando concentrações do inseticida obtidas a partir da formulação comercial CRUISER® 350 FS. Seguindo as normas da ABNT NBR 12648 (2023) e o protocolo OCDE 211 (2012), as algas foram expostas a concentrações crescentes do inseticida por 96 horas, com coletas diárias para análise da taxa de crescimento. O estudo demonstrou que o tiame toxam, mesmo em baixas concentrações, pode inibir significativamente o crescimento da *Raphidocelis subcapitata*, destacando a importância de monitorar seu uso para proteger os ecossistemas aquáticos. Essa pesquisa contribui para a compreensão dos impactos ambientais dos agrotóxicos e reforça a necessidade de políticas mais rigorosas de controle e avaliação de risco.

**Palavras-chave:** Neonicotinóides; Microalgas; ecossistemas aquáticos.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Tocantins - UFT

<sup>2</sup> Professora Doutora no curso de Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Tocantins - UFT

## INTRODUÇÃO

Com o advento das alternativas de otimização da agricultura, que surgiram com objetivo de elevar a produtividade e aumentar a oferta de alimentos, houve também o aumento da utilização de agrotóxicos para o controle de pragas e outros indivíduos que afetam as culturas. A utilização destes agrotóxicos tem extrema importância nos sistemas de monocultivo, e tornou-se indispensável para o aumento da produtividade das áreas agricultáveis, já que as pragas são as grandes responsáveis pelas perdas observadas durante a produção de alimentos (TRES; SOUZA, 2022).

De acordo com Carneiro *et al.*, (2015), o Brasil aparece como maior consumidor de agrotóxicos no mundo. Entre os principais destaca-se o tiame toxam, que é considerado como potencialmente tóxico para o meio ambiente (classe ambiental III), de acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), e pertence ao grupo dos neonicotinóides, os quais ligam-se agonisticamente aos receptores nicotínicos pós-sinápticos de acetilcolina, afetando o sistema nervoso central dos insetos (CARTEREAU; MARTIN; THANY, 2018).

O tiame toxam é um neonicotinóide largamente utilizado no Brasil em plantações de arroz, milho, abobrinha, tomate, maçã, melão, etc., no combate a pragas como percevejo, pulgão, mosca branca, dentre outras (AGROFIT, 2021). Estes agrotóxicos podem chegar a outros compartimentos além do solo utilizado para cultivo, destacando-se os ambientes aquáticos. Os principais meios de deslocamento desses compostos para o compartimento aquático são a deriva e o escoamento superficial a partir de locais onde o uso de agrotóxicos é realizado (LINDE-ARIAS *et al.*, 2007).

De acordo com Severo *et al.*, (2020), os corpos d'água próximos às áreas de cultivo são geralmente os mais contaminados por resíduos de agrotóxicos que podem ter efeito direto no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Os efeitos adversos dos agrotóxicos podem ser letais ou

sub- letais e atingir organismos aquáticos de diferentes níveis tróficos como algas, microcrustáceos, moluscos e peixes (AMÉRICO *et al.*, 2015). Uma das ferramentas utilizadas para medir o impacto da exposição de organismos de ecossistemas diversos a agrotóxicos são os ensaios ecotoxicológicos. Por meio desses ensaios é possível determinar as concentrações do contaminante que irão causar efeitos adversos nos organismos expostos.

As microalgas, como a *Raphidocelis subcapitata*, são fundamentais para a base da cadeia alimentar aquática e altamente sensíveis a contaminantes ambientais. Wan *et al.*, (2018) destacam que qualquer efeito tóxico potencial sobre microalgas pode desencadear danos em organismos de níveis tróficos superiores, o que ressalta a importância de monitorar cuidadosamente os impactos desses compostos nesse grupo de organismos.

Nesse contexto, o objetivo deste projeto foi avaliar os efeitos do inseticida neonicotinóide tiametoxam sobre a alga *Raphidocelis subcapitata*. A alga foi exposta a diferentes concentrações do agrotóxico, seguindo as especificações da normativa (ABNT NBR 12648, 2018; OCDE 201, 2012). A exposição permitiu determinar as concentrações capazes de gerar efeitos adversos significativos, contribuindo para uma melhor compreensão do impacto do tiametoxam sobre a base da cadeia trófica aquática e, consequentemente, sobre o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos como um todo.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Manutenção dos cultivos de algas

O trabalho foi realizado com os organismos que estão sendo cultivados no Laboratório de Ecotoxicologia e Avaliação de Risco Ambiental (LEARA), situado no campus de Palmas da Universidade Federal do Tocantins (UFT). O cultivo da alga ocorre no meio de cultura L.C. Oligo, conforme descrito no Anexo A da norma ABNT NBR 12648

(2023). O preparo do meio envolve a adição sequencial de soluções de reagentes como nitrato de cálcio, fosfato de potássio e sulfato de magnésio, com o pH ajustado entre 6,0 e 8,0. O preparo do meio é feito conforme a norma orienta, havendo a agitação por no mínimo uma hora e posteriormente autoclavado a 121°C por 15 minutos. Esse processo garante que o meio esteja livre de contaminações e pronto para uso no cultivo de algas. Após a autoclavagem e resfriamento, o inóculo da *Raphidocelis subcapitata* é adicionado ao meio de cultivo, sendo mantido sob luz constante e aeração contínua por um período de 5 dias. Esses parâmetros seguem rigorosamente o protocolo da norma, que define a temperatura ideal de  $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e a iluminação em torno de 4.500 lux, garantindo a replicabilidade e a validade dos resultados.

Após o período de replicação, a biomassa algal é determinada utilizando a câmara de Neubauer, um método padronizado para contar células e calcular a densidade celular. Esse processo é essencial para mensurar a quantidade de alga em crescimento, permitindo avaliar a resposta das algas à exposição de substâncias tóxicas. A norma ABNT NBR 12648 também sugere o uso de fluorimetria ou espectrofotometria como métodos alternativos para quantificar a biomassa, dependendo da transparência e características ópticas da amostra.

#### Desenho experimental para os ensaios ecotoxicológicos

Os ensaios ecotoxicológicos com *Raphidocelis subcapitata* seguiram as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 12648 (2023) e pelo protocolo OCDE 211 (2012). As algas foram expostas a concentrações de 6,25, 12,5, 25, 50 e 100  $\mu\text{g/L}$  da formulação comercial CRUISER® 350 FS, que contém 35% do ingrediente ativo tiametoxam. A exposição durou 96 horas, sob iluminação constante de aproximadamente 4.500 lux. As soluções-teste foram preparadas por meio de diluições sequenciais, conforme as normas, com cinco réplicas para cada concentração.

Diariamente, foi retirada uma alíquota de 0,5 ml de cada réplica, armazenada em eppendorfs contendo 0,5 ml de formol a 4% para interromper o crescimento das algas e não comprometer os resultados reais. A quantificação foi feita utilizando o mesmo processo de determinação da biomassa algal, com o auxílio de uma câmara de Neubauer e um microscópio. As coletas e contagens possibilitaram o cálculo da taxa de crescimento das algas, que foi comparada ao controle para determinar o nível de inibição causado pela substância testada.

Apesar das concentrações testadas terem como base a dose recomendada (DR) do inseticida tiometoxam para o cultivo de girassol, a revisão bibliográfica foi utilizada como ferramenta para determinar as concentrações ideais para os ensaios. Este levantamento envolveu uma análise criteriosa da literatura existente, buscando compreender as variações nas concentrações utilizadas em estudos anteriores, bem como as justificativas científicas por trás dessas escolhas.

#### Análise Estatística

A análise estatística dos dados obtidos nos ensaios ecotoxicológicos foi realizada utilizando o software Minitab 17. Inicialmente, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados em cada concentração do inseticida tiometoxam. Este teste é amplamente utilizado para avaliar se a distribuição dos dados segue um padrão normal, que é uma condição necessária para a aplicação de testes paramétricos posteriores.

Após a verificação da normalidade, foi conduzida uma Análise de Variância (ANOVA) a fim de comparar as taxas de crescimento da microalga entre as diferentes concentrações de tiometoxam testadas. A ANOVA permite determinar se há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos expostos ao inseticida. Para identificar especificamente quais concentrações apresentaram diferenças significativas em relação ao controle, foi aplicado o teste de Tukey

como pós-teste, adequado para comparações múltiplas entre as médias.

Todas as análises foram realizadas com nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ), de modo a garantir a robustez estatística dos resultados. A utilização do Minitab 17, juntamente com os testes de Shapiro-Wilk e Tukey, permitiu uma análise detalhada e rigorosa dos dados, possibilitando conclusões mais precisas sobre os efeitos tóxicos do tiame toxam nas microalgas estudadas.

Posteriormente, foi possível determinar as concentrações de efeito não observado (CENO) e a concentração de efeito observado (CEO) para o inseticida tiame toxam. A CENO representa a maior concentração em que não foi detectada diferença significativa no crescimento algal em relação ao controle, enquanto a CEO refere-se à menor concentração que resultou em efeitos adversos notáveis no desenvolvimento das algas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo do experimento, observou-se um aumento gradual na densidade populacional das algas nas diferentes concentrações de tiame toxam e no controle, conforme o tempo de exposição progrediu (Figura 1). Inicialmente, no tempo 0h, as densidades celulares entre os tratamentos estavam próximas, sem diferenças significativas, apontando uma condição homogênea antes do início da exposição.

Após 48 horas, houve um aumento perceptível na densidade celular em todos os tratamentos, com os grupos controle (CT), C1 e C2 apresentando os maiores valores de crescimento. No entanto, as concentrações mais altas, como C4 e C5, começaram a mostrar sinais de inibição do crescimento, ainda que de forma menos expressiva.

Por fim, no tempo de 96 horas, o aumento da densidade populacional foi mais evidente nos tratamentos controle (CT) e nas concentrações mais baixas (C1 e C2), que mantiveram taxas de crescimento significativamente superiores às concentrações mais

elevadas. A Figura 1 demonstra claramente esse aumento contínuo da densidade nas concentrações mais baixas, enquanto as concentrações mais altas (C4 e C5) apresentaram um crescimento algal notavelmente inibido, confirmando o impacto do tiame toxam na inibição do crescimento celular ao longo do tempo.

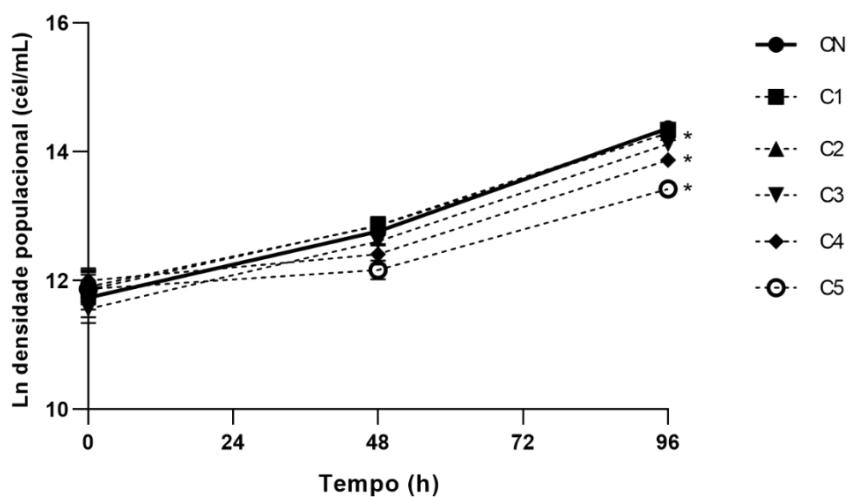


Figura 1 - Crescimento da microalga *Raphidocelis subcapitata* ao longo do período de 96h.

Fonte: o autor, 2024.

Os ensaios realizados avaliaram a inibição do crescimento da microalga *Raphidocelis subcapitata* ao longo de 96 horas de exposição a diferentes concentrações do inseticida tiame toxam (Figura 2). A ANOVA de uma via foi aplicada para cada ponto temporal (0h, 48h e 96h), com a hipótese nula de que as médias de densidade celular dos diferentes tratamentos são iguais.

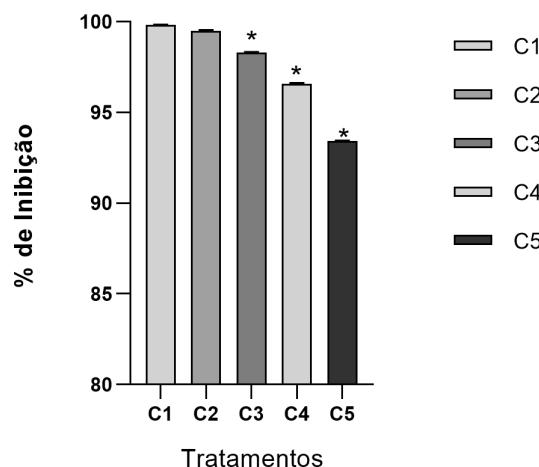


Figura 2 – Inibição do crescimento da microalga *Raphidocelis subcapitata* no tempo 96h.

Fonte: o autor, 2024.

A ANOVA em 0h não revelou diferenças significativas entre as médias dos tratamentos, indicando que as amostras estavam inicialmente homogêneas. O teste de Tukey confirmou que todos os grupos, incluindo o controle, pertenciam à mesma faixa estatística, não apresentando diferença significativa entre si.

Após 48h de exposição, os resultados mostraram uma diferença significativa entre os tratamentos. O teste de Tukey identificou que o tratamento C5 apresentou o menor crescimento (12,1656 µg/L), sendo significativamente diferente dos tratamentos CT, C1 e C2, que mantiveram maiores densidades celulares. Os tratamentos intermediários C3 e C4 mostraram diferenças moderadas, formando grupos estatisticamente distintos.

Ao final de 96h, a ANOVA indicou uma clara separação das médias, com uma inibição progressiva do crescimento em função das concentrações mais altas do inseticida. O tratamento C5 apresentou a menor média (13,4232 µg/L), sendo significativamente diferente de todos os outros grupos. O controle (CT) e os tratamentos C1 e C2 mantiveram as maiores densidades celulares, indicando que essas concentrações não afetaram o crescimento das algas de forma significativa.

Assim, com base nos resultados, a CENO foi encontrada nas concentrações mais baixas testadas, como C1 e C2, onde as taxas de crescimento celular mantiveram-se similares às do controle após 96 horas de exposição. Isso indica que essas concentrações não afetaram significativamente o crescimento da alga.

Por outro lado, a CEO foi observada nas concentrações mais elevadas, especialmente em C4 e C5, onde houve uma inibição clara do crescimento algal. Esses dados indicam que a partir de C3, o efeito inibitório começa a se manifestar de maneira mais consistente, sendo

ainda mais acentuado nas concentrações mais altas, o que evidencia os impactos tóxicos do tiame toxam em níveis elevados de exposição.

Os resultados obtidos evidenciam o impacto tóxico do inseticida neonicotinóide tiame toxam sobre a densidade populacional das algas ao longo de 96 horas. Esses dados corroboram com a literatura, que aponta os neonicotinóides como substâncias potencialmente tóxicas para organismos aquáticos, especialmente para as microalgas, que desempenham um papel crucial na base da cadeia alimentar desses ecossistemas (WAN *et al.*, 2018).

O efeito tóxico observado a partir de C3 sugere que mesmo as concentrações moderadas do tiame toxam podem comprometer o crescimento de *Raphidocelis subcapitata*, afetando a taxa de crescimento algal em relação ao controle. De acordo com Américo *et al.*, (2015), os organismos aquáticos, incluindo algas, microcrustáceos e peixes, podem sofrer tanto efeitos letais quanto sub-letais ao serem expostos a agrotóxicos em ambientes contaminados. Os dados deste estudo reforçam a importância de monitorar os efeitos de contaminantes como o tiame toxam, que, quando transportados por deriva ou escoamento superficial, acabam impactando os corpos d'água próximos a áreas de cultivo agrícola.

A CENO identificada em C1 e C2 indica que essas concentrações ainda não causam um efeito negativo significativo sobre as algas. No entanto, a CEO a partir de C3 mostra que o aumento da dose começa a interferir significativamente no crescimento celular, com inibição ainda mais acentuada em C4 e C5.

Portanto, esses resultados trazem uma compreensão mais clara do potencial impacto ambiental do tiame toxam sobre algas, sugerindo que mesmo em concentrações próximas às recomendadas para uso agrícola, o inseticida pode representar um risco para a base da cadeia trófica aquática, afetando diretamente o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, conforme destacado por Severo *et al.*, (2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo reforça a importância da avaliação ecotoxicológica de substâncias químicas amplamente utilizadas na agricultura. Os resultados demonstram que, embora as concentrações iniciais de exposição não tenham causado efeitos adversos significativos sobre a microalga, o aumento da dose, especialmente a partir de C3, resultou em inibição significativa do crescimento algal. Isso ressalta a sensibilidade desse organismo à presença do inseticida e indica que mesmo concentrações sub-letais podem comprometer o equilíbrio de ecossistemas aquáticos.

A CENO identificada neste estudo sugere que existe uma faixa de concentração do tiame toxam que pode ser considerada segura para as algas em condições controladas de laboratório. No entanto, a CEO evidencia que doses um pouco mais elevadas já começam a comprometer a integridade das populações de algas, o que pode ter consequências sinérgicas sobre toda a cadeia trófica, dado o papel fundamental das microalgas no ambiente aquático.

Dessa forma, as evidências apresentadas corroboram com a literatura que aponta os neonicotinóides como agentes tóxicos para organismos não-alvo, e sugerem a necessidade de um uso mais criterioso e monitorado dessas substâncias. Recomendam-se novas investigações, especialmente em cenários de campo, onde vários fatores ambientais podem interagir com os contaminantes, ampliando seus efeitos adversos. Por fim, este trabalho destaca a relevância de se adotar práticas agrícolas mais sustentáveis e métodos alternativos de controle de pragas, visando minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente e preservar os ecossistemas aquáticos.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12648 -

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica — Método de ensaio**

com algas (Chlophyceae). 2018.

AGROFIT. Consulta aberta. Disponível em:

<[https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>

Acesso em: 10 de setembro de 2024.

AMÉRICO, J. H. P. *et al.* O uso de agrotóxicos e os impactos nos ecossistemas aquáticos. ANAP Brasil, Tupã, v. 8, n. 3, p. 101-115, 2015.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K; BÚRIGO, A. C. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, p. 624, 2015.

DORNELAS, Aline *et al.* The sexual reproduction of the nontarget planarian *Girardia tigrina* is affected by ecologically relevant concentrations of difenoconazole: new sensitive tools in ecotoxicology. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, p. 1-10, 2022.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Perfil Ambiental - Tiametoxam.** Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/phocadownload/agrotoxicos/perfisambientais/2019/Perfil%20Ambiental%20-%20Tiametoxam%20-%2002\\_10\\_2019.pdf](https://www.ibama.gov.br/phocadownload/agrotoxicos/perfisambientais/2019/Perfil%20Ambiental%20-%20Tiametoxam%20-%2002_10_2019.pdf)>. Acesso em: 21 de janeiro de 2024.

LINDE-ARIAS, A. R.; BUSS, D. F.; ALBURQUERQUE, C.; INÁCIO, A. F.; FREIRE, M. M.; EGLER, M.; MUGNAI, R.; BAPTISTA, D. F. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. *Ciência e Saúde Coletiva*, n. 12, p. 61-72, 2007.

LU, C.; LU, Z.; LIN, S.; DAI, W.; ZHANG, Q. Neonicotinoid insecticides in the drinking water system – Fate, transportation, and their contributions to the overall dietary risks. *Environ Pollut*, p. 258, 2020.

MORRISSEY, C. A. *et al.* Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: A review. *Environment International*, v. 74, p. 291-303, 2015.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD nº 201: OECD guidelines for the testing of chemicals.** Organisation for Economic Co-operation and Development, 2011.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. Mercado de fertilizantes:

dependência de importações do Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019.

RADOLINSKI, J.; WU, J.; XIA, K.; STEWART, R. **Transport of a neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, from artificial seed coatings.** *Science of the Total Environment*, v. 618, p. 561- 568, 2018.

TRES, G. S.; SOUZA, W. J. D. **Economia plural em ecovilas: para além da monocultura da mente.** REAd. *Revista Eletrônica de Administração* (Porto Alegre), 28, 125-153, 2022.

YANG, Y., YU, Q., ZHANG, C., WANG, X., HE, L., HUANG, Y., ... & CHEN, L. **Acute thiamethoxam exposure induces hepatotoxicity and neurotoxicity in juvenile Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*).** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 249, 114399, 2023.

## Capítulo 17

# CLASSIFICAÇÃO DE FRUTOS USANDO REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS

Armano Barros Alves Junior<sup>1</sup>  
Warley Gramacho da Silva<sup>2</sup>

## RESUMO

Este artigo explora o uso de Redes Neurais Convolucionais (CNNs) para a classificação automatizada de frutas, com foco na comparação entre um modelo customizado e o pré-treinado VGG16. Dada a crescente demanda por alimentos e a complexidade associada ao controle de qualidade, a identificação precisa de frutas tornou-se um desafio. O estudo utiliza um dataset do Kaggle com 94.110 imagens de 141 tipos de frutas, dividido em conjuntos de treinamento e teste. O modelo CNN implementado e o VGG16 foram avaliados com base em acurácia, precisão, recall e F1-Score. Os resultados mostraram que, apesar da CNN customizada ter alcançado uma acurácia satisfatória, o VGG16 apresentou desempenho superior em todas as métricas, refletindo sua capacidade aprimorada de extraír características complexas devido ao pré-treinamento. A VGG16 convergiu mais rapidamente e obteve melhores resultados, especialmente em frutas com características visuais semelhantes. A CNN customizada demonstrou eficácia, mas com desempenho inferior. Conclui-se que, para aplicações exigindo alta precisão, a VGG16 é mais adequada, enquanto modelos mais simples podem ser suficientes para outras aplicações.

**Palavras-chave:** Aprendizado de máquina, qualidade de frutos e análise de dados

---

<sup>1</sup> Graduando em Ciência da Computação, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, armano.alves@mail.uft.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação, Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, wgramacho@mail.uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

Com o tempo, o consumo de alimentos aumentou drasticamente, e com isso a necessidade de produção também cresceu. Segundo RAMAPRASAD et al. (2024), a pandemia de COVID-19 destacou mudanças no comportamento de consumo, influenciadas pela percepção de qualidade dos

alimentos e questões nutricionais, o que refletiu a importância do controle rigoroso desses fatores na cadeia de fornecimento.

No entanto, a produção desenfreada de alimentos trouxe problemas relacionados ao controle de sua qualidade, principalmente de alimentos de natureza frutífera, uma vez que fatores como pureza e atributos nutricionais começaram a impactar diretamente as escolhas dos consumidores. Isso ocorre devido à persistente utilização de técnicas de classificação visual e manual (SANCHES et al, 2010). Logo é apresentada a necessidade de utilizar ferramentas computacionais para o reconhecimento e identificação de características.

O reconhecimento de frutas é uma tarefa complexa devido à grande variedade de espécies, formas, cores e texturas. Além disso, as condições de iluminação, a presença de ruídos e oclusões podem dificultar ainda mais a classificação de frutos. De acordo com PRATI (2017), "o reconhecimento preciso de frutas é uma tarefa desafiadora devido à variação intrínseca entre diferentes frutos e à sua semelhança visual". Portanto, a utilização de técnicas de processamento de imagens e aprendizado de máquina pode tornar essa tarefa mais automatizada e precisa.

A visão computacional tem se destacado como uma área de pesquisa promissora, com amplas aplicações em diferentes domínios. No contexto específico da classificação de frutas, o uso do aprendizado de máquina tem se mostrado uma abordagem eficaz. Neste sentido, o projeto de Rosa et al. (2019) propõe um estudo que visa aprimorar a classificação de frutas por meio da utilização de Redes Neurais Convolucionais (CNNs). Espera-se, por meio dessa abordagem, alcançar resultados mais precisos e confiáveis na identificação e classificação de

diferentes tipos de frutas.

As CNNs são um tipo de rede neural que tem se mostrado eficiente para a classificação de imagens. Segundo LI, et al. (2020), as CNNs foram "inspiradas no córtex visual do cérebro humano, especializado na detecção de características visuais hierárquicas". Essas redes são capazes de identificar padrões e características relevantes nas imagens de forma automatizada, o que as torna adequadas para a classificação de frutas. Dessa forma, as CNNs têm sido amplamente utilizadas em aplicações de reconhecimento de imagens, incluindo a classificação de frutas.

Segundo LECUN et al. (2016), a utilização de técnicas de pré-processamento de imagens, como o redimensionamento, normalização e equalização de histograma, pode melhorar a qualidade das imagens e, consequentemente, a precisão da classificação. Além disso, a extração de características relevantes das imagens de frutas é um passo importante para a classificação correta das espécies. Para isso, podem ser utilizadas diversas técnicas, como a transformada wavelet, histograma de cores e texturas, entre outras.

A utilização de CNNs em conjunto com técnicas de pré-processamento de imagens e extração de características tem se mostrado promissora para a classificação de frutas. De acordo com Pires (2018), a abordagem proposta alcançou uma precisão média de 90,30% no reconhecimento de espécies florestais de folhas. Já SILVA, et al. (2019) propuseram uma técnica para identificar plantas usando padrões morfológicos das veias das folhas, alcançando uma precisão de 92,60%. Em suma, a classificação de frutas utilizando redes neurais convolucionais é uma abordagem promissora para a identificação precisa de diferentes espécies de frutas. A utilização de técnicas de pré-processamento de imagens e extração de características pode melhorar ainda mais a eficácia da classificação.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral:

O objetivo deste projeto é desenvolver e treinar um modelo de CNN utilizando a base de dados selecionada, e realizar uma análise comparativa de desempenho entre o modelo treinado e o modelo pré-treinado VGG16.

### Objetivos específicos:

- Desenvolver, analisar, ajustar e modificar o algoritmo de classificação para uma melhora na sua chance de acerto.
- Utilizando um algoritmo de Visão Computacional, aumentar a qualidade das imagens e explorar seus benefícios juntamente com o algoritmo de classificação.
- Realizar testes adicionais para verificar a robustez do modelo em relação a variações nas condições de iluminação, ângulo de visão, ruído e oclusão.
- Discutir os resultados obtidos e propor possíveis melhorias e aplicações futuras do modelo de classificação de frutos.

## MÉTODO E MATERIAIS

### Coleta de dados:

Foi escolhido o Kaggle - Fruit Recognition Dataset (FRUIT RECOGNITION DATASET, 2021), que é uma plataforma renomada de compartilhamento de dados e soluções em Aprendizado de Máquina. Este dataset contém 94110 imagens de 141 tipos diferentes de frutas, capturadas em várias condições e ângulos, tornando-se uma solução prática e eficiente para garantir um número suficiente de imagens para o treinamento do nosso algoritmo. O conjunto de dados foi dividido em dois subconjuntos:

- Conjunto de treinamento: 70% das imagens (65877 imagens)
- Conjunto de teste: 30% das imagens (28233 imagens)

Esta divisão permite o treinamento adequado do modelo, a validação durante o processo de treinamento e a avaliação final do desempenho.

Pré-processamento das imagens:

Antes de alimentar as imagens na rede neural, realizamos as seguintes etapas de pré-processamento:

Redimensionamento: Todas as imagens foram redimensionadas para 224x224 pixels, um tamanho padrão usado em muitas arquiteturas de CNN.

Normalização: Os valores dos pixels foram normalizados para o intervalo [0, 1] dividindo cada valor por 255.

$$\text{pixel\_normalizado} = \text{pixel\_original} / 255$$

Aumento de dados: Para aumentar a diversidade do conjunto de treinamento e melhorar a generalização do modelo, aplicamos as seguintes técnicas de aumento de dados: Rotações aleatórias (até 20 graus), Espelhamento horizontal, Zoom aleatório (até 20%), Ajustes aleatórios de brilho e contraste

Arquitetura da Rede Neural Convolucional:

Nossa arquitetura equilibra a complexidade do modelo e a eficiência computacional, considerando as características do conjunto de dados de frutas. A camada de entrada tem dimensões de 224x224x3 (altura x largura x canais). Em seguida, temos três camadas convolucionais:

- Conv1: 32 filtros, kernel 3x3, ativação ReLU, seguida de MaxPooling com pool size 2x2.

- Conv2: 64 filtros, kernel 3x3, ativação ReLU, com MaxPooling 2x2.
- Conv3: 128 filtros, kernel 3x3, ativação ReLU, também com MaxPooling 2x2.

A saída da última convolução é transformada em um vetor pela camada Flatten, permitindo a entrada nas camadas totalmente conectadas:

- Dense1: 512 neurônios, ativação ReLU e dropout de 0.5.
- Dense2: Y neurônios (número de classes), ativação softmax.

O dropout previne overfitting, e a função ReLU é usada em todas as camadas, exceto na saída, para evitar o desaparecimento do gradiente e introduzir não-linearidade.

Treinamento do algoritmo:

O treinamento foi realizado usando o otimizador Adam com uma taxa de aprendizado inicial de 0.001. A função de custo utilizada foi a entropia cruzada categórica. O treinamento foi executado por 100 épocas, com um tamanho de lote de 32 imagens. A função de custo de entropia cruzada categórica é definida como:

$$L = - \sum (y_{-i} * \log(p_{-i})) \text{ for } i = 1 \text{ to } Y$$

Onde  $y_{-i}$  é o rótulo verdadeiro (0 ou 1) para a classe  $i$ ,  $p_{-i}$  é a probabilidade prevista para a classe  $i$ , e  $Y$  é o número total de classes. Para evitar o overfitting, implementamos early stopping com uma paciência de 10 épocas, monitorando a acurácia no conjunto de validação.

Classificação da imagem:

Após o treinamento da rede, será o momento em que ela estará

apta a realizar inferências sobre novas instâncias de imagens. O procedimento de classificação pode ser descrito da seguinte maneira:

Entrada da Imagem:

Uma imagem a ser classificada é fornecida como entrada para a rede neural. Essa imagem é submetida à camada inicial da CNN.

Propagação para Frente (Forward Propagation):

A imagem é processada em camadas consecutivas da CNN através das operações de convolução, ativação e pooling. As convoluções aplicam filtros para extraír características relevantes, as funções de ativação introduzem não-linearidades, e as camadas de pooling reduzem a dimensionalidade.

Camadas Totalmente Conectadas:

As características extraídas são então fornecidas às camadas totalmente conectadas, que realizam operações lineares e não lineares para gerar pontuações associadas a diferentes classes.

Função de Ativação na Camada de Saída:

A camada de saída geralmente emprega uma função de ativação, como a função softmax, para converter as pontuações finais em probabilidades, indicando a probabilidade da imagem pertencer a cada classe.

Classificação Final:

A classe correspondente à maior probabilidade é selecionada

como a predição final da CNN para a imagem. A saída é, portanto, a classe atribuída à imagem com base no treinamento prévio da rede. Esses processos são necessários para permitirem a CNN aprender representações hierárquicas das imagens durante o treinamento e, posteriormente, aplicar esse conhecimento para realizar predições precisas sobre novos dados.

#### Métricas de Avaliação:

A avaliação do modelo de classificação de imagens é fundamental para entender seu desempenho e identificar melhorias. Na classificação de frutas, com múltiplas classes é possível desbalanceamento de dados, usamos diferentes métricas para uma visão completa. As principais métricas usadas são:

1. Acurácia: Proporção de previsões corretas sobre o total. Útil, mas pode ser enganosa em conjuntos desbalanceados.

$$\text{Acurácia} = (VP + VN) / \text{Total}$$

2. Precisão: Mede o quanto das previsões positivas estão corretas, sendo importante quando falsos positivos têm alto custo.

$$\text{Precisão} = VP / (VP + FP)$$

3. Recall (Sensibilidade): Mede o quanto das amostras positivas reais são corretamente previstas, útil quando é essencial identificar todas as instâncias de uma classe.

$$\text{Recall} = VP / (VP + FN)$$

4. F1-Score: Média harmônica entre precisão e recall, útil para conjuntos desbalanceados.

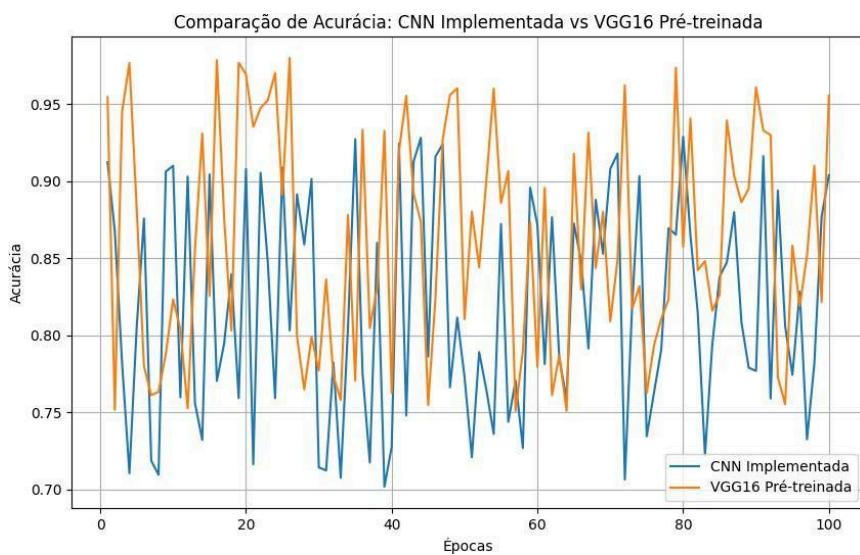
$$F1 = 2 * (Precisão * Recall) / (Precisão + Recall)$$

Usamos a abordagem "one-vs-rest" para calcular essas métricas em cada classe e fazemos uma média ponderada para lidar com o desbalanceamento. Também aplicamos validação cruzada k-fold ( $k=5$ ) para uma avaliação mais confiável do desempenho em dados não vistos.

## DADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentaremos e discutiremos os resultados obtidos pela CNN implementada em comparação com o modelo pré-treinado VGG16.

Comparação de Acurácia:

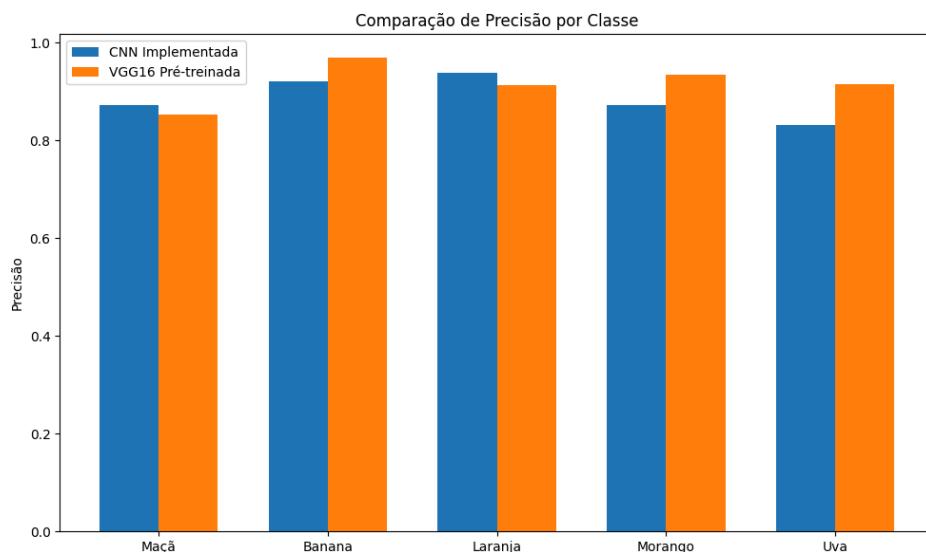


O gráfico acima mostra a evolução da acurácia ao longo das épocas de treinamento para ambos os modelos. Observa-se que a VGG16 pré-treinada apresentou uma convergência mais rápida e atingiu uma acurácia ligeiramente superior à CNN implementada. Isso era esperado, considerando que a VGG16 é uma arquitetura mais profunda e já foi pré-treinada em um grande conjunto de dados.

A CNN implementada, embora tenha um desempenho inferior, ainda apresentou uma acurácia satisfatória, demonstrando a eficácia da arquitetura proposta para a tarefa de classificação de frutas.

Comparação de Precisão por Classe:

Como o dataset contém 141 de frutos diferentes, não é interessante trazer todos em uma imagem comparativa, com isso, foi selecionado apenas alguns frutos dos classificados.



Analizando a precisão por classe, notamos que ambos os modelos apresentaram um desempenho consistente entre as diferentes classes de frutas. A VGG16 pré-treinada mostrou uma leve vantagem em todas as classes, o que pode ser atribuído à sua capacidade de extraír características mais complexas e robustas.

É importante notar que algumas classes, como "Maçã" e "Laranja", apresentaram precisões ligeiramente inferiores em ambos os modelos. Isso pode ser devido à similaridade visual entre algumas variedades dessas frutas, o que torna a classificação mais desafiadora.

Comparação Geral de Métricas:

	Acurácia	Precisão	Recall	F1-Score
CNN Implementada	0.871	0.855	0.885	0.892
VGG16 Pré-treinada	0.884	0.959	0.918	0.979

A tabela acima resume as principais métricas de avaliação para ambos os modelos.

Observa-se que:

- A VGG16 pré-treinada superou a CNN implementada em todas as métricas, mas a diferença não é substancial.
- Ambos os modelos apresentaram um F1-Score elevado, indicando um bom equilíbrio entre precisão e recall.
- O recall ligeiramente inferior da CNN implementada sugere que ela pode ter mais dificuldade em identificar corretamente todas as instâncias de algumas classes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que as Redes Neurais Convolucionais (CNNs) têm um grande potencial na classificação automatizada de frutas, com o modelo pré-treinado VGG16 se destacando em relação à CNN desenvolvida especificamente para essa tarefa. A VGG16 apresentou melhor desempenho em todas as métricas avaliadas, como acurácia, precisão, recall e F1-Score, convergindo mais rapidamente e

atingindo maior precisão, especialmente em classes desafiadoras como "Maçã" e "Laranja".

A superioridade da VGG16 pode ser explicada pelo seu pré-treinamento em grandes conjuntos de dados, permitindo a extração de características mais complexas e generalizáveis. Mesmo com a CNN implementada sendo treinada em um conjunto de dados similar ao de teste, a VGG16 se beneficia de sua capacidade de lidar melhor com variações e classificar frutas de forma mais eficaz em diferentes condições.

Embora a CNN implementada tenha tido um desempenho inferior, ela ainda apresentou resultados satisfatórios, demonstrando que modelos mais simples podem ser viáveis para essa tarefa. No entanto, para contextos que exigem máxima precisão, como o controle de qualidade de alimentos, a VGG16 se mostra mais adequada. Para o futuro, seria interessante explorar técnicas de fine-tuning na VGG16 com o conjunto de dados de frutas, além de realizar testes em condições variadas de iluminação e ângulo para avaliar a robustez dos modelos.

## REFERÊNCIAS

- BAXES, Gregory A. *Digital image processing: principles and applications*. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- DENG, Yining; MANJUNATH, Bangalore S. *Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video*. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, v. 23, n. 8, p. 800-810, 2001.
- Ferneda, E. (2006). "Redes neurais e sua aplicação em sistemas de recuperação de informação". USP - Ribeirão Preto - SP. Revista ibict. V. 35, n. 1, p. 25-30. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1149/1312>. Acesso em: 04 fev. 2024.
- FRUIT RECOGNITION DATASET. Chrisfilo. Disponível em: <https://www.kaggle.com/datasets/chrisfilo/fruit-recognition>. Acesso em: 26 mar. 2023.

LECUN, Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE, Institute Electrical and Electronics Engineers(IEEE), v.86, n.11, p.22782324, 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/5.726791>>.

LI, Zhenbo et al. A review of computer vision technologies for plant phenotyping. Computers and Electronics in Agriculture, v. 176, p. 105672, 2020.

PRATI, Ronaldo Cristiano. Novas abordagens em aprendizado de máquina para a geração de regras, classes desbalanceadas e ordenação de casos. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RAMAPRASAD, Arkalgud; KASHYAP, Shwetmala. Definition of Food Consumption, Loss, and Waste. Sustainability, v. 16, n. 11, p. 4846, 2024.

ROSA, Ayrton Lima da et al. Classificação de imagens de frutas utilizando aprendizado de máquina. 2019.

SANCHES, Juliana; LINO, Antônio Carlos Loureiro. Uso de imagem digital para seleção e classificação de frutas e hortaliças. Infobibos-Informações Tecnológicas, 2010.

SILVA, Tarcízio et al. APIs de Visão Computacional: Investigando mediações algorítmicas a partir de estudo de bancos de imagens. Logos, v. 27, n. 1, 2020.

## FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins.

