



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA –
PROFIT
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM BIOCÊNCIAS

YAN VITOR SILVA OLIVEIRA

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA DO EXTRATO DE FOLHA DE
CUMARU (*Dipteryx odorata*)

SANTARÉM
2025

YAN VITOR SILVA OLIVEIRA

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA DO EXTRATO DE FOLHA DE
CUMARU (*Dipteryx odorata*)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biociências, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior

Coorientador: Dr. Juarez de Souza

Coorientadora: Dra. Cristina Aledi Felsemburgh

**SANTARÉM-PA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

O48s Oliveira, Yan Vitor Silva

Síntese verde de nanopartículas de prata do extrato de folha de cumaru (*Dipteryx Odorata*). / Yan Vitor Silva Oliveira. – Santarém, 2025.

61 p. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Paulo Sérgio Taube Júnior.

Coorientador: Juarez de Souza.

Coorientadora: Cristina Aledi Felsemburgh.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Biociências.

1. *Atividade antibacteriana*. 2. Atividade antioxidante. 3. Cumaru. 4. *Dipteryx odorata*. 5. Extrato etanólico. I. Taube Júnior, Paulo Sérgio, *orient.* II. Souza, Juarez de, *coorient.* III. Felsemburgh, Cristina Aledi, *coorient.* IV. Título.

CDD: 23 ed. 615

YAN VITOR SILVA OLIVEIRA

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA DO EXTRATO DE FOLHA DE
CUMARU (*Dipteryx odorata*)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biociências, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Biociências, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior

Coorientador: Dr. Juarez de Souza


Coorientadora: Dra. Cristina Aledi Felsemburgh

Conceito:

Data de aprovação:


Banca examinadora:

Orientador: _____


Documento assinado digitalmente
 **PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR**
Data: 26/12/2024 11:16:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dr. Paulo Sergio Taube Junior
Universidade Federal do Oeste do Pará

Membro interno: _____

Documento assinado digitalmente
 **CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH**
Data: 26/12/2024 10:29:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dr. Cristina Aledi Felsemburgh
Universidade Estadual do Pará

Documento assinado digitalmente
 **JUAREZ DE SOUZA**
Data: 23/12/2024 13:44:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro interno: _____

Profª Dr. Juarez de Sousa
Universidade Estadual do Pará

Documento assinado digitalmente



GRACIENE DO SOCORRO TAVEIRA FERNANDES

Data: 23/12/2024 09:54:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro interno: _____

Profª Dra. Graciene do Socorro Taveira Fernandes
Universidade Federal do Oeste do Pará

Documento assinado digitalmente



JOSE ARNALDO SANTANA COSTA

Data: 23/12/2024 08:44:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro externo: _____

Profª Dr. José Arnaldo Santana Costa
Universidade Federal do Oeste do Pará

Documento assinado digitalmente



ALAN KELBIS OLIVEIRA LIMA

Data: 27/02/2025 09:39:31-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro externo: _____

Profª Dr. Alan Kelbis Oliveira Lima
Embrapa



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM BIOCÊNCIAS**

MODELO -FORMULÁRIO PARA ATAS

BANCAS: () QUALIFICAÇÃO (X) DEFESA

Discente:	YAN VITOR SILVA OLIVEIRA		
Data do Evento	20/12/2024	Hora	14h00min
Nº de Páginas:	62	Local	345 – BMT - CAMPUS TAPAJÓS

1. TÍTULO EM PORTUGUÊS:

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA DO EXTRATO DE FOLHA DE CUMARU (*Dipteryx odorata*)

2. RESUMO

Este estudo investigou as propriedades químicas e biológicas do extrato etanólico das folhas da espécie *Dipteryx odorata*, contando também as características ecológicas e botânicas da espécie, os usos múltiplos do cumaru na região e a relevância da floresta amazônica e recursos amazônicos com fins tecnológicos. O extrato foi submetido a ensaios fitoquímicos para identificar a presença de metabólitos secundários, e sua atividade antioxidante foi avaliada pela determinação dos teores totais de fenólicos e flavonoides, bem como por ensaios de DPPH (radicais livres) e FRAP (poder antioxidante redutor férrico). Além disso, o estudo abordou a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) usando os extratos das folhas de *D. odorata*. A formação de AgNPs foi monitorada por espectroscopia UV/VIS e detalhada por DLS, FTIR e TEM para analisar as propriedades químicas, estruturais e morfológicas das nanopartículas. Finalmente, uma atividade antibacteriana das AgNPs foi avaliada contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. O extrato etanólico das folhas de *D. odorata* exibe uma variedade de compostos fitoquímicos, incluindo compostos fenólicos,

taninos, flavonóides e saponinas, com ausência de alcalóides. Além disso, o extrato apresentou atividade antioxidante significativa, tornando-se uma fonte potencial para descrições de AgNPs. A análise das AgNPs evidenciou sua formação esférica e monodispersa, estabilizada por compostos fenólicos e flavonoides presentes no extrato. As propriedades coloidais das AgNPs apresentaram tamanhos hidrodinâmicos entre 130,3 e 143,5 nm, com boa estabilidade em meio aquoso. A avaliação da atividade antibacteriana das AgNPs revelou eficácia contra *Escherichia coli*, com menores valores de concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) em comparação ao controle AgNO₃. Esses resultados indicam o potencial das AgNPs sintetizadas a partir do extrato etanólico de *D. odorata* como agentes antibacterianos promissores.

3. PALAVRAS-CHAVE

Atividade antibacteriana. Atividade antioxidante. Cumaru. *Dipteryx odorata*. Extrato etanólico.

4. TÍTULO EM INGLÊS

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FROM CUMARU LEAF

EXTRACT (*Dipteryx odorata*)

5. ABSTRACT

This study investigated the chemical and biological properties of the ethanolic extract of the leaves of the species *Dipteryx odorata*, also counting the ecological and botanical characteristics of the species, the multiple uses of cumaru in the region and the relevance of the Amazon rainforest and Amazonian resources for technological purposes. The extract was subjected to phytochemical assays to identify the presence of secondary metabolites, and its antioxidant activity was evaluated by determining the total phenolic and flavonoid contents, as well as through DPPH (free radicals) and FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. Additionally, the study addressed the synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using the leaf extracts of *D. odorata*. The formation of AgNPs was monitored by UV/VIS spectroscopy and characterized by DLS, FTIR, and TEM to analyze the chemical, structural and morphological properties of the nanoparticles. Finally, the antibacterial activity of the AgNPs was evaluated against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The ethanolic extract of *D. odorata* leaves exhibited a variety of phytochemical compounds, including phenolic compounds, tannins, flavonoids, and saponins, with the absence of alkaloids. Additionally, the extract showed significant antioxidant activity, making it a potential source for

AgNPs synthesis. The analysis of AgNPs evidenced their spherical and monodisperse formation, stabilized by phenolic compounds and flavonoids present in the extract. The colloidal properties of AgNPs showed hydrodynamic sizes between 130.3 and 143.5 nm, with good stability in aqueous medium. The evaluation of the antibacterial activity of AgNPs revealed efficacy against *Escherichia coli*, with lower minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) values compared to the AgNO₃ control. These results indicate the potential of AgNPs synthesized from the *D. odorata* ethanolic extract as promising antibacterial agents.

6. KEYWORDS:

ANTIBACTERIAL ACTIVITY. ANTIOXIDANT ACTIVITY. CUMARU. *Dipteryx odorata*. ETHANOLIC EXTRACT.

TITULAÇÃO	NOME COMPLETO	VINCULADO À
Orientador: Prof. Dr.	PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR	UFOPA
Coorientador: Prof. Dr.	JUAREZ DE SOUZA	UEPA
Coorientadora: Profa. Dra.	CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH	UFOPA
Examinadora Interna: Profa. Dra.	GRACIENE DO SOCORRO TAVEIRA FERNANDES	UFOPA
Examinador Externo: Prof. Dr.	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	UFOPA
Examinador Externo: Dr.	ALAN KELBIS OLIVEIRA LIMA	Embrapa







7. MEMBROS DA BANCA JULGADORA/AVALIADORA

ABERTURA DOS TRABALHOS: às 14H00m, o professor orientador, PAULO SÉRGIO TAUBE JÚNIOR, apresentou o Discente YAN VITOR SILVA OLIVEIRA o qual apresentou o trabalho de **Defesa de mestrado**, intitulado: **SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA DO EXTRATO DE FOLHA DE CUMARU (*Dipteryx odorata*)** - aos membros da Banca Julgadora/Avaliadora. O discente teve até 50 minutos no máximo para a exposição da defesa da dissertação. Após a apresentação o presidente da banca passou a palavra aos membros da banca para que fosse feita a argüição. A argüição seguiu a ordem, Dr. Alan K. O. Lima, após, Dr. José A. S. Costa e por fim a Dra. Graciene do Socorro T. Fernandes. Após, as argüições e apontamentos de correções destacadas abaixo, a banca se reuniu se a presença do discente e demais participantes e deliberou pela **Aprovação** do trabalho. O discente tem conforme regimento do Programa de Pós-Graduação em Biociências e regimento geral da Pós- Graduação da UFOPA o prazo de 30 dias para concluir as etapas Pós defesa no SIGAA e, somente, após, a conclusão de todas as etapas, obter o título de mestre em Biociências.

- 8. PARECER DA COMISSÃO JULGADORA:** Tendo o (a) discente (a) concluído a apresentação, os componentes da Banca reuniram-se sem a presença do (a) discente para avaliarem a **Dissertação Apresentada** e na condição de Julgadores emitiram o parecer como segue:


ITEM	DISSERTAÇÃO	AVALIADOR / JULGADOR	AVALIADOR/ JULGADOR	AVALIADOR/ JULGADOR	AVALIADOR/ JULGADOR
1	INTRODUÇÃO	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	No geral, conforme apontamentos no texto, a introdução dever ser ajustada.		
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	A revisão da literatura deve ser complementada, conforme apontamentos no texto.		
3	METODOLOGIA	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	Alguns aspectos da metodologia devem ser melhorados para melhor compreensão do texto.		
4	RESULTADOS OBTIDOS	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	Nesta parte, o candidato a mestre precisa rever várias passagens no texto.		
5	CONCLUSÕES	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	A conclusão precisa ser revista		
6	RESULTADO	SEM LOUVOR	Aprovado	COM LOUVOR	

Encerramento dos Trabalhos: às H_m,o (a) professor (a), Paulo Sergio Taube Junior, Presidente da sessão, ouvindo os demais membros da Banca Julgadora/Avaliadora, lavrou esta Ata de Exame de () **Qualificação** ; ou, (X) **Defesa**, que será entregue à SECRETARIA do Programa de Pós-Graduação em Biociências, para a devida consolidação no Histórico do (a) discente, no SIGAA.


ASSINATURA DOS Componentes da Banca Julgadora/Avaliadora		
TITULAÇÃO	NOME DO (A) DOCENTE	ASSINATURA - GOV.BR
Orientador: Prof. Dr.	PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR	 Documento assinado digitalmente PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR Data: 26/12/2024 11:16:11-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Coorientador: Prof. Dr.	JUAREZ DE SOUZA	 Documento assinado digitalmente JUAREZ DE SOUZA Data: 23/12/2024 13:44:45-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Coorientadora: Profa. Dra.	CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH	 Documento assinado digitalmente CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH Data: 26/12/2024 10:29:09-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Examinadora Interna: Profa. Dra.	GRACIENE DO SOCORRO TAVEIRA FERNANDES	 Documento assinado digitalmente GRACIENE DO SOCORRO TAVEIRA FERNANDES Data: 23/12/2024 09:54:28-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Examinador Externo: Prof. Dr.	JOSE ARNALDO SANTANA COSTA	 Documento assinado digitalmente JOSE ARNALDO SANTANA COSTA Data: 23/12/2024 08:44:02-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Examinador Externo: Dr.	ALAN KELBIS OLIVEIRA LIMA	 Documento assinado digitalmente ALAN KELBIS OLIVEIRA LIMA Data: 27/02/2025 09:39:31-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Santarém, 20 de dezembro de 2024

Assinatura do (a) Aluno (a)

 Documento assinado digitalmente
YAN VITOR SILVA OLIVEIRA
 Data: 23/12/2024 10:34:31-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior
 Presidente

 Documento assinado digitalmente
PAULO SERGIO TAUBE JUNIOR
 Data: 26/12/2024 11:17:25-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dedico esse trabalho ao time de professores que se empenharam em orientar e me fazer entender o curso certo a seguir na minha linha de pesquisa, ao meu orientador Dr. Paulo Sérgio Taube Júnior, a minha professora e coorientadora Dra. Cristina Aledi e o meu amigo Dr. Alan Kelbis , dedico esse trabalho a vocês pois vocês me proporcionaram estar aqui hoje concluindo mais uma etapa importante na minha caminhada acadêmica e profissional, vocês são de extrema importância ao meu desenvolvimento acadêmico e digo, vocês são mais que professores são amigos que levarei para a vida!

AGRADECIMENTO

Primeiro agradecimento vai para o meu Deus, aquele que está acima de todas as coisas, o qual nos permitiu estarmos reunidos nesse lugar.

A minha esposa e família que deu todo apoio e incentivo para continuar mediante as adversidades e agradecer também ao meu professor e orientador Paulo Sérgio Taube Júnior que incentivou a sempre seguir em frente nessa caminhada acadêmica!

“Não tão longe que eu não possa voltar e nada
tão difícil que eu não possa superar.”
Charlie Brown Jr

RESUMO

Este estudo investigou as propriedades químicas e biológicas do extrato etanólico das folhas da espécie *Dipteryx odorata*, através da síntese de nanopartículas de prata, contando também as características ecológicas e botânicas da espécie, os usos múltiplos do cumaru na região e a relevância da floresta amazônica e recursos amazônicos com fins tecnológicos. Nesse contexto as nanopartículas de prata (AgNPs) têm atraído cada vez mais o interesse entre os cientistas devido ao seu potencial antimicrobiano contra uma ampla variedade de microrganismos. Contudo, a síntese de AgNPs a partir de extratos de diferentes partes de plantas vem ganhando destaque e o método de obtenção de AgNPs é conhecido como síntese verde, pois permite uma descrição rápida gerando o mínimo de danos ao meio ambiente. O extrato obtido das folhas do cumaru foi submetido a ensaios fitoquímicos para identificar a presença de metabólitos secundários, e sua atividade antioxidante foi avaliada pela determinação dos teores totais de fenólicos e flavonoides, bem como por ensaios de DPPH (determinação da atividade antioxidante) e FRAP (poder antioxidante redutor férrico). Além disso, o estudo abordou a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) usando os extratos das folhas de *Dipteryx odorata*. A formação de AgNPs foi monitorada por espectroscopia UV/VIS (ultravioleta visível) e detalhada por DLS (dispersão dinâmica de luz), FTIR (Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier) e MET (microscopia de transmissão eletrônica), para analisar as propriedades químicas, estruturais e morfológicas das nanopartículas. O extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata* exibe uma variedade de compostos fitoquímicos, incluindo compostos fenólicos, taninos, flavonoides e saponinas, com ausência de alcalóides. Além disso, o extrato apresentou atividade antioxidante significativa, tornando-se uma fonte potencial para descrições de AgNPs. A análise das AgNPs evidenciou sua formação esférica e monodispersa, estabilizada por compostos fenólicos e flavonoides presentes no extrato. As propriedades coloidais das AgNPs apresentaram tamanhos hidrodinâmicos entre 130,3 e 143,5 nm, com boa estabilidade em meio aquoso. A avaliação da atividade antibacteriana das AgNPs revelou eficácia contra *Escherichia coli*, com menores valores de concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) em comparação ao controle AgNO_3 . Esses resultados indicam o potencial das AgNPs sintetizadas a partir do extrato etanólico de *Dipteryx odorata* como agentes antibacterianos promissores.

Palavras-chave: Atividade antibacteriana. Atividade antioxidante. Cumaru. *Dipteryx odorata*. Extrato etanólico.

ABSTRACT

This study investigated the chemical and biological properties of the ethanolic extract from the leaves of *Dipteryx odorata*, focusing on the synthesis of silver nanoparticles (AgNPs), it also examined the ecological and botanical characteristics of the species, the various uses of cumaru in the region, and the significance of the Amazon rainforest and its resources for technological purposes. Silver nanoparticles (AgNPs) have gained increasing attention from scientists due to their antimicrobial potential against a broad range of microorganisms. In this regard, the synthesis of AgNPs using plant extracts has become a key area of interest, with the green synthesis method standing out for its rapid process and minimal environmental impact. The ethanolic extract was subjected to phytochemical analysis to identify secondary metabolites, while its antioxidant activity was assessed by determining the total phenolic and flavonoid contents, as well as through DPPH (antioxidant activity) and FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. Additionally, the study explored the synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using the leaves of *Dipteryx odorata*. The formation of AgNPs was monitored through UV/VIS spectroscopy and further characterized by dynamic light scattering (DLS), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and transmission electron microscopy (TEM) to analyze their chemical, structural, and morphological properties. Finally, the antibacterial activity of the synthesized AgNPs was tested against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The ethanolic extract of *Dipteryx odorata* leaves was found to contain a variety of phytochemical compounds, including phenolics, tannins, flavonoids, and saponins, with no alkaloids detected. The extract also exhibited significant antioxidant activity, making it a promising source for AgNP synthesis. The analysis of the AgNPs revealed their spherical and monodisperse shape, stabilized by phenolic compounds and flavonoids present in the extract. The colloidal properties of the AgNPs showed hydrodynamic sizes ranging from 130.3 to 143.5 nm, with good stability in aqueous solution. The antibacterial tests demonstrated that the AgNPs were particularly effective against *Escherichia coli*, with lower minimum inhibitory concentrations (MIC) and minimum bactericidal concentrations (MBC) compared to the AgNO₃ control. These findings highlight the potential of AgNPs synthesized from *Dipteryx odorata* ethanolic extract as promising antibacterial agents.

Keywords: Antibacterial activity. Antioxidant activity. Cumaru. *Dipteryx odorata*. Ethanolic extract.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Origem do Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>).....	19
2.2	Características ecológicas e botânicas.....	19
2.3	Utilização do cumaru	20
2.4	Propriedades antimicrobianas e antioxidantes do cumaru.....	22
2.5	Nanotecnologia.....	23
2.6	Síntese verde	25
2.6.1	Síntese Verde Usando Microrganismos.....	27
2.6.2	Síntese Verde Usando Extratos Vegetais.....	27
2.6.3	Síntese Mediada por Polímeros e Biomodelos.....	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Tipo de pesquisa.....	31
3.2	Área de estudo.....	31
3.3	Preparação do Extrato Etanólico das Folhas de Cumaru	31
3.4	Ensaio fitoquímico do extrato etanólico.....	31
3.5	Teste para taninos e fenóis.....	32
3.6	Teste para flavonoides	32
3.7	Teste para saponinas.....	32
3.8	Teste para alcaloides.....	32
3.9	Atividade antioxidante do extrato etanólico de <i>Dipteryx Odorata</i> folhas.....	33
3.9.1	Determinação do teor de fenólicos totais sem extrato	33
3.9.2	Determinação do teor total de flavonoides	33
3.10	Avaliação da atividade antioxidante dos extratos pelo método DPPH	33
3.11	Poder antioxidante redutor de ferro (FRAP) dos extratos	34
3.13	Caracterização de AgNPs	35

3.13.1	Espectroscopia UV/VIS	35
3.13.2	Análise de espectroscopia infravermelha por transformada de Fourier (FTIR).....	35
3.13.3	Análise por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)	36
3.13.4	Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) de AgNPs.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Testes fitoquímicos do extrato etanólico das folhas de <i>Dipteryx odorata</i>	37
4.2	Atividade antioxidante do extrato etanólico de <i>Dipteryx odorata</i> folhas.....	38
4.3	Caracterização de AgNPs	40
4.3.1	Análise espectrofotométrica UV/VIS.....	40
4.3.2	Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	41
4.3.3	Microscopia eletrônica de transmissão (MET)	42
4.4	Propriedades coloidais (DLS) e potencial Zeta de superfície.....	43
4.5	Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) de AgNPs.....	45
5	CONCLUSÃO.....	47
_____	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

As nanopartículas de prata (AgNPs) têm atraído cada vez mais interesse entre os cientistas devido ao seu potencial antimicrobiano contra uma ampla variedade de microrganismos. Essa propriedade tem sido amplamente investigada e documentada em diversos artigos científicos, que destacam sua relevância e a eficácia das AgNPs como agentes antimicrobianos em diversas aplicações. Por exemplo, essas nanopartículas têm sido usadas como antimicrobianos contra várias bactérias, fungos, agentes resistentes a antibióticos. Além disso, as AgNPs têm sido empregadas como em agentes de preservação em embalagens de alimentos (Rai *et al.*, 2012; Hosseini *et al.*, 2017; McGillicuddy *et al.*, 2017, Galúcio *et al.*, 2022). Além disso, as AgNPs apresentam baixa toxicidade e boa estabilidade (Das *et al.*, 2021; Nguyen; Lai, 2022).

As AgNPs podem ser sintetizadas por meio de vários métodos físico-químicos; no entanto, essas metodologias geralmente envolvem reagentes caros e/ou tóxicos (Tortella *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2021). Nesse contexto, a síntese de AgNPs a partir de extratos de diferentes partes de plantas vem ganhando destaque. O método de obtenção de AgNPs é conhecido como síntese verde, pois permite uma descrição rápida gerando o mínimo de danos ao meio ambiente (Kaviya *et al.*, 2011; Chand *et al.*, 2020; Aboyewa *et al.*, 2021).

Diferentes partes de uma planta, como folhas, cascas, flores, sementes, frutos, rizomas e caules, podem ser exploradas para preparar as AgNPs, cada uma conferindo características específicas às nanopartículas produzidas (Bouafia *et al.*, 2021). No entanto, as folhas são particularmente valorizadas devido ao seu alto volume de distribuição e acúmulo significativo de biomoléculas em sua composição, tornando-o um dos materiais mais eficazes e comumente usados na síntese de AgNPs (Zhang *et al.*, 2023).

Uma variedade de compostos fitoquímicos pode ser utilizada em reações de síntese verde de AgNPs). Os compostos incluem alcaloides, flavonoides, polissacarídeos, vitaminas, aminoácidos, proteínas, taninos, saponinas, terpenoides, carboidratos e ácidos orgânicos. Tais compostos podem ser identificados em extratos vegetais por meio de triagem fitoquímica de várias técnicas analíticas, como cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) e cromatografia gasosa (CG), associadas a diferentes detectores (fluorescência, massa, UV, entre outros) (Fenfen *et al.*, 2014; Mendes *et al.*, 2018; Hassan *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2020).

Neste contexto, a floresta amazônica apresenta uma vasta variedade de plantas ricas em diversos metabólitos secundários capazes de reduzir Ag^+ Ag^0 e estabilizar AgNPs. O cumaru (*Dipteryx odorata*), pertencente à família Fabaceae (Carvalho, 2009; Souza; Lorenzi, 2019),

possui sementes utilizadas para extração de óleo, o qual é empregado como agente anti-inflamatório e antimicrobiano na medicina popular (Carvalho, 2009).

As diversas propriedades medicinais do cumaru também são relatadas por Blundell e Gieleta (2023), tais como, analgésicas, anticoagulantes, com aplicação na redução de hematomas e aceleração de cicatrizações de feridas e cortes profundos, controle da pressão arterial e prevenção de trombose. O estudo de Silva *et al.* (2021) buscou avaliar o potencial antibacteriano da cumarina extraída das sementes e das folhas do cumaru no tratamento de doenças infecciosas causadas por bactérias, além da elaboração de um produto biotecnológico, tendo como resultado a inibição da ação de bactérias *Staphylococcus aureus*, destacando o potencial farmacológico dos extrativos da espécie, e ainda a fabricação de um hidratante produzido a partir do óleo obtido da semente.

Entre seus metabólitos secundários, a cumarina está presente em todas as partes da planta (Silva *et al.*, 2021). O extrato aquoso da casca de *Dipteryx odorata* é tradicionalmente usado como antiespasmódico e tônico (Rios; Pastore Júnior, 2011). Segundo Silva e Silva (2017), os extratos foliares de *Dipteryx odorata* (Aubl) Willd. contém taninos, sesquiterpeno, lactonas, esteroides e triterpenoides.

Como hipótese, as AgNPs sintetizadas apresentam melhor potencial antimicrobiano, que o extrato puro? Como hipótese verdadeira, o estudo descreve que o extrato da *Dipteryx odorata* possui ação antioxidante e antimicrobiana e como hipótese nula, o extrato de *Dipteryx odorata* não possui ação antioxidante e antimicrobiana.

O cumaru é uma espécie vegetal, onde sua exploração está associada a atividade extrativista na região oeste do Pará. Conhecida popularmente pelas propriedades expectorante e anti-inflamatória essa espécie tem sido estudada, e considerando que, o conhecimento popular embora válido e importante e precisa de comprovação científica. Acredita-se que tanto o óleo quanto o extrato da *Dipteryx odorata* apresentam variedades de compostos cujo ação biológica pode ser benéfica ao organismo, há relatos na literatura a respeito do uso desta planta no tratamento da hipertensão, pneumonia, doenças renais e até mesmo o câncer.

Os estudos biotecnológicos com espécies vegetais têm ganhado destaque, uma vez que se trata de um processo onde a geração de resíduos químicos tóxicos são mínimos Cruz; Gallio; Gatto (2020). Na pesquisa científica de Oliveira Junior e Cabreira (2012), realizaram um levantamento do potencial econômico da diversidade vegetal no país, baseado no conhecimento dos povos tradicionais, tendo como resultado a identificação de oito categorias de uso, dentre elas, alimentício e medicinal, tendo esta última apresentando o maior número de espécies. As

famílias botânicas que mais se destacaram nesse estudo para o bioma da Amazônia foram Fabaceae, Lecythidaceae, Chrysobalanaceae e Sapotaceae.

O trabalho realizado por Silva *et al.* (2021), consistiu em um estudo químico e antimicrobiano dos extratos de sementes e folhas da espécie cumaru (*Dipteryx odorata*), da família Fabaceae, para a elaboração de um produto tecnológico. Tendo como resultado a demonstração efetiva das propriedades antibacterianas do óleo de cumaru, apontando o potencial dos extrativos desta espécie no desenvolvimento de novos fármacos.

Uma atenção maior deve ser dada ao estudo presente, pois o mesmo é de grande valor para os avanços da pesquisa em relação a efetividade de um medicamento que pode ser comprovado e validado cientificamente para o tratamento efetivo e seguro de diversas doenças, sendo também de fácil acesso a baixo custo para a população.

O estudo visa avaliar o potencial antioxidante do extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata*, assim como o potencial das nanopartículas quanto à sua atividade antibacteriana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Como objetivos específicos, preparar o extrato etanólico das folhas do *Dipteryx odorata*; Identificar por meio de testes fitoquímicos as classes de metabolitos secundários presentes nos extratos da espécie trabalhada; Identificar por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) acoplada a espectrometria as classes dos metabolitos secundários presentes no extrato; Determinar a capacidade antioxidante do extrato pelo método ABTS, DPPH e FRAP e realizar os testes por meio da síntese verde de AgNPs.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem do Cumaru (*Dipteryx odorata*)

A subfamília Papilionoideae possui 530 gêneros no total e no Brasil é representada por 152 destes generos. As espécies de *Dipteryx Schreb.* estão distribuídas no Brasil nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, com ocorrências confirmadas na Floresta Amazônica, Caatinga, Savana Central Brasileira e Mata Atlântica. São aceitas 11 espécies (Carvalho *et al.*, 2024).

As espécies do gênero *Dipteryx Schreb* são: *Dipteryx alata* Vogel, *Dipteryx charapilla* (J.B.Macbr.) Ducke, *Dipteryx ferrea* (Ducke) Ducke, *Dipteryx hermetopascoaliana* C.S. Carvalho, H.C. Lima & D.B.O.S. Cardoso, *Dipteryx lacunifera* Ducke, *Dipteryx magnifica* (Ducke) Ducke, *Dipteryx micrantha* Harms, *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f., *Dipteryx polyphylla* Huber, *Dipteryx punctata* (S.F. Blanke) Amshoff e *Dipteryx rosea* Spruce ex Benth (BFG, 2020; 2021; Carvalho *et al.*, 2024).

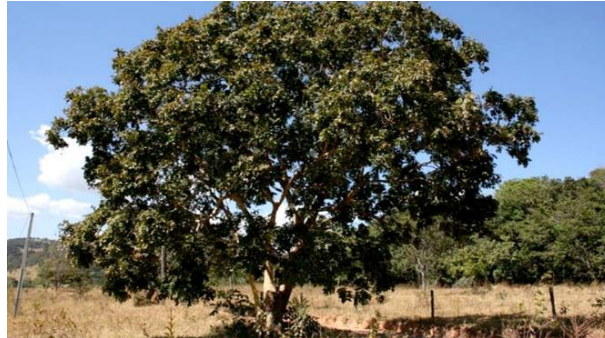
As plantas da espécie *Dipteryx odorata* (Aubl.) Forsyth f. possui diversos nomes vernaculares no Brasil como: cumaru, baunilha do Brasil, cumaru ferro, cumaru da folha grande, cumaru amarelo, cumaru roxo, e cumarurana (Sampaio, 1993; Souza, 2017; Sousa *et al.*, 2023). *Dipteryx odorata* é uma espécie nativa, mas não endêmica do Brasil, com ocorrências confirmadas na região Norte, nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia e Roraima. Na região Nordeste no estado do Maranhão e na região Centro-Oeste no estado de Mato Grosso, com domínio fitogeográfico na Floresta Amazônica, mais especificamente na Floresta de Terra Firme, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Tropical Ombrófila e em Floresta de Várzea (Nascimento *et al.*, 2022; Carvalho *et al.*, 2024). O nome do gênero “*Dipteryx*” refere-se as folhas que se manifestam na forma de duas asas e o epíteto específico “*odorata*” significa perfumado, devido ao forte aroma de cumarina (Carvalho, 2009).

2.2 Características ecológicas e botânicas

O cumaru é uma árvore perenifólia, de porte elevado com altura entre 20-30 m (Figura 1), podendo as árvores maiores em mata primária alcançar 40 m de altura com copa globosa, tronco geralmente reto e cilíndrico com 50-70 cm de DAP (diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do solo). É uma espécie emergente, clímax e exigente em luz, com baixa densidade

populacional, menos de 0,2 indivíduos ha^{-1} com DAP ≥ 10 cm (Herrero-Jáuregui, 2009). O cumaru por ter um rápido período de germinação e emergência, entre a 3ª e 8ª semana após a semeadura e por apresentar frutificação precoce iniciando aos 4 anos de idade e considerada uma ótima opção para reflorestamento (Carvalho, 2009; Sampaio, 1993).

Figura 1 - Altura do cumaru



A floração no estado do Pará ocorre entre os meses de agosto a outubro e a polinização é realizada essencialmente por abelha (Carvalho, 2009; Pesce, 2009). O seu fruto é de drupa (que apresenta uma única semente), lenhoso, oblongo-oval e quando maduro com coloração verde-amarelada, com mesocarpo carnudo e endocarpo lenhoso cuja abertura de suas duas valvas só ocorre quando o mesocarpo é decomposto para a liberação da única semente (Pesce, 2009; Sousa, 2017). A semente é oleosa, de coloração roxo-escura e aromática (Loureiro *et al.*, 1979; Prance; Silva, 1975), um exemplo do cumaru, é apresentado na figura 2.

Figura 2 – Semente de cumaru



2.3 Utilização do cumaru

O cumaru, (*Dipteryx odorata*), é uma espécie arbórea nobre e nativa da floresta amazônica, com usos associados a diferentes partes da planta, como utilização na indústria madeireira, devido a alta resistência estrutural apresentada, além de suas sementes, conhecidas internacionalmente por *fava tonka*, (Benevides Júnior *et al.*, 2020), e “baunilha da Amazônia”

(Soares *et al.*, 2017), serem utilizadas para fins cosméticos e de perfumaria desde o século XIX, devido ao odor natural proveniente da cumarina presente em sua composição (Teixeira *et al.*, 2021).

Na indústria madeireira, a madeira de cumaru é caracterizada por sua densidade, tenaz, altamente durável e resistente às fissuras provenientes da exposição intensa a luz solar, (Araújo *et al.*, 2016; Pereira *et al.*, 2017; Azevedo; Barbosa; Mendonça, 2018).

Na região do Marajó, a espécie foi considerada a de maior valor comercial madeireiro e demais usos entre os anos de 2006 a 2016, tendo valor comercial equivalente a R\$ 172, 13 por metro cúbico da madeira. A fava tonka fora do Brasil, em países como a França, é empregada tanto na culinária, na produção de sobremesas e ensopados, quanto na indústria de medicamentos, além de ser ingeridas diariamente em casos de espasmos, náuseas, tosse, convulsões, tuberculose, inchaço, linfedema e no tratamento da doença parasitária esquistossomose (Kim; Lida, 2022).

O emprego da fava do cumaru em alimentos na empresa NAYAH Sabores da Amazônia se dá na produção de chocolates com o intuito de oferecer ao produto sabor e aromatização mais agradável (Soares *et al.*, 2017). A semente do cumaru, devido ao alto teor de cumarina, com rendimento do óleo essencial que varia entre 3 a 10% por amêndoa (Teixeira *et al.*, 2021) confere a semente um sabor amargo, pode causar hemorragias, danos ao fígado ou ataque cardíaco quando ingeridas em grandes doses, por isso apresenta uso controlado como aditivo alimentar em alguns países, no entanto, para que a ingestão de cumarina se torne prejudicial à saúde é necessária a ingestão de pelo menos 30 semente do cumaru (Kim; Lida, 2022).

Na indústria cosmética é citado o uso da semente de cumaru como aromatizante na produção de hidratantes, óleos e xampus (Azevedo; Barbosa; Mendonça, 2018; Brasil Neto *et al.*, 2021) e ainda aplicação na indústria de tabaco (Jankowsky *et al.*, 2017; Azevedo; Barbosa; Mendonça, 2018) e fabricação de licores, *whisky* e vermute (Azevedo; Barbosa; Mendonça, 2018). O uso da semente do cumaru em perfumaria é amplo, e de acordo com Blundell e Gioleta (2023), 90% dos perfumes contêm a cumarina em sua composição, em teores maiores que 1%, citando o perfume *Shalimar* da marca Guerlain. Os autores também destacam o uso da cumarina na indústria cosmética, na produção de cremes hidratantes e xampus cujo intuito é tratar inflamações do couro cabeludo e a queda de cabelo.

A região do Baixo Amazonas é tida como a protagonista na produção de sementes de cumaru, onde os municípios de Alenquer, Altamira, Curuá, Óbidos, Oriximiná e Santarém são conhecidos como os maiores produtores, tendo a semente uma notável participação na

economia regional, com valores chegando a R\$ 45,00 por kg da semente seca e sendo provenientes de florestas nativas e plantios agroflorestais (SAFs) (Lameira *et al.*, 2022).

O potencial medicinal do cumaru também está relacionado às suas sementes, de onde se extrai o óleo essencial, a cumarina, e é relatado em estudo de Kim e Lida (2022) os quais explicam que essas sementes ao serem consumidas agem no nosso corpo ajudando a remover bactérias e limpando o nosso sistema biológico, uma vez que, com a ingestão de cumarina, a secreção corpórea aumenta (expectoração) e as bactérias são expelidas pela mucosa nasal, sendo um importante componente empregado em casos de acúmulo de muco no pulmão e alívio de crises asmáticas.

Os resíduos madeireiros de *Dipteryx odorata* juntamente com mais duas espécies pertencentes à família Fabaceae foram avaliados no estudo de Jankowsky *et al.* (2017) quanto à atividades antiproliferativas em células cancerígenas humanas, tendo como resultado atividade citocida seletiva em linhagens celulares de leucemia e câncer de ovário, ressaltando os autores que pesquisas anteriores já haviam relatado a ação dos flavonoides presentes na composição química de extratos da espécie como contribuintes para a atividade cancerígena apresentada.

As diversas propriedades medicinais do cumaru também são relatadas por Blundell e Gieleta (2023), dentre elas propriedades analgésicas, anticoagulantes, com aplicação na redução de hematomas e aceleração de cicatrizações de feridas e cortes profundos, controle da pressão arterial e prevenção de trombose.

O estudo de Silva *et al.* (2021) buscou avaliar o potencial antibacteriano da cumarina extraída das sementes e das folhas do cumaru no tratamento de doenças infecciosas causadas por bactérias, além da elaboração de um produto biotecnológico, tendo como resultado a inibição da ação de bactérias *Staphylococcus aureus*, destacando o potencial farmacológico dos extrativos da espécie, e ainda a fabricação de um hidratante produzido a partir do óleo obtido da semente.

2.4 Propriedades antimicrobianas e antioxidantes do cumaru

No Brasil, encontra-se 25% da flora mundial; no entanto, menos de 1% das espécies que apresentam propriedades medicinais possuem comprovação e validação científica (Evangelista *et al.*, 2013). O estudo de Silva *et al.* (2021) buscou avaliar o potencial antibacteriano da cumarina extraída das sementes e das folhas do cumaru no tratamento de doenças infecciosas causadas por bactérias, além da elaboração de um produto biotecnológico, tendo como resultado

a inibição da ação de bactérias *Staphylococcus aureus*, destacando o potencial farmacológico dos extrativos da espécie, e ainda a fabricação de um hidratante produzido a partir do óleo obtido da semente.

Com relação à atividade antioxidantes do óleo essencial de cumaru, o estudo de Paumgartten *et al.* (2021) objetivou desenvolver uma embalagem biodegradável incorporada com óleo vegetal de cumaru, tendo como resultado um efeito linear positivo do óleo, permitindo inferir que quanto maior sua concentração, maior a quantidade de compostos fenólicos e maior a possibilidade de atividade antioxidante, ressaltando no entanto a necessidade de mais estudos para caracterizar a atividade antioxidante do óleo de cumaru.

2.5 Nanotecnologia

A nanotecnologia é uma área de ponta com inúmeras aplicações industriais e abriu novas fronteiras aplicadas em biotecnologia, biociências, ciência de materiais e engenharia (Magro *et al.*, 2020). Segundo Tripathi *et al.* (2018), nanopartículas são estruturas com dimensões que variam de 1 a 100 nm as quais apresentam propriedades mecânicas, ópticas, elétricas e químicas significativamente diferentes e superiores quando comparadas com suas estruturas equivalentes maiores (Rana *et al.*, 2020; Sim *et al.*, 2019).

Apesar dos métodos tradicionais de síntese de nanopartículas baseados nas abordagens descendentes (*top-down*) e ascendentes (*bottom-up*) terem atraído interesse crescente devido à sua adaptabilidade aos processos industriais, esses métodos são considerados caros e complexos devido ao uso de técnicas, como ablação a laser, litografia e deposição de vapor (abordagem descendente); bem como espalhamento de plasma e pirólise a laser (abordagem ascendente). Além disso, esses métodos na sua maior parte geram diferentes resíduos químicos que representam riscos ao meio ambiente e à saúde humana (Mahesh *et al.*, 2014).

Com base nesses preceitos, os métodos de síntese verde surgiram como alternativas ecológicas, de baixo custo e sustentáveis aos métodos tradicionais (Balasooriya *et al.*, 2017; Mohammadlou *et al.*, 2016). Além disso, a biossíntese de nanopartículas metálicas tem sido apontada como uma abordagem viável para a reciclagem de sais metálicos que são usados como precursores organometálicos das nanoestruturas (Hussain *et al.*, 2016).

Métodos de síntese verde têm sido amplamente aplicados para obter nanopartículas metálicas e, dependendo da natureza do metal, diferentes compostos orgânicos são mais funcionais para a formação dessas nanoestruturas (Loo *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2020). Rotas sintéticas que utilizam fontes naturais, como extratos de plantas e microrganismos, mel e

enzimas são abordagens ecologicamente corretas, as quais estão se tornando mais populares, e a busca por fontes naturais de biomoléculas que atuem como redutores, estabilizadores e descobertos na história dessas nanopartículas é um dos principais campos de pesquisa relacionados ao desenvolvimento da química verde (Ahmad *et al.*, 2019; Rasheed *et al.*, 2021; Bankalgi *et al.*, 2016). Dentre as principais classes químicas de compostos naturais aplicadas para redução de íons metálicos, bem como estabilização de nanopartículas, podemos citar polissacarídeos, polifenóis, terpenoides, alcaloides, flavonoides, carotenoides, catequinas, antocianinas e esteróis (Reverberi *et al.*, 2017; Swathi *et al.*, 2019).

Além disso, os métodos de síntese verde que utilizam plantas, têm se mostrado adequados para adaptação em larga escala, devido à estabilidade dos produtos e à maior velocidade da síntese (Reverberi *et al.*, 2017; Iravani, 2011). Quanto a identificação e caracterização destas nanopartículas, são utilizados métodos analíticos como, análise ultravioleta visível (UV/VIS), (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019; Filipe *et al.*, 2011) dispersão dinâmica de luz (DLS), (Sapsford *et al.*, 2011; Roy *et al.*, 2015). Difração de raios X (XDR), (Lin *et al.*, 2014; Salão *et al.*, 2000) microscopia eletrônica de varredura (MEV), (Fissan *et al.*, 2014; Mondal *et al.*, 2014), microscopia eletrônica de transmissão (MET), (Pirz *et al.*, 2008; Asoro *et al.*, 2013).

As técnicas que permitem quantificar e avaliar a formação das nanoestruturas, bem como analisar seu tamanho, morfologia, diâmetro e grupos funcionais químicos envolvidos com sua estabilização, podem ser: espectrofotometria infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (Meng *et al.*, 2014; Shang *et al.*, 2007), espectroscopia de raios X de dispersão de energia (EDXS), (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019). Espectroscopia Raman (Mohammadlou *et al.*, 2016; Kora *et al.*, 2012; Jaworska *et al.*, 2014). E espectroscopia de massa com acoplamento de plasma (ICP-MS), (Beckhoff *et al.*, 2006; Amigo; 2007), calorimetria diferencial de varredura (DSC), (Krishnaswamy *et al.*, 2015), análise termogravimétrica (TGA), (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019; Rossi *et al.*, 2018) e espectroscopia de fotoelétrons de raios X (XPS) (Joshi *et al.*, 2018; Manna *et al.*, 2001; Ashida *et al.*, 2007).

A utilização de nanopartículas contendo biomoléculas tem um amplo espectro de aplicação biológicas, como atividades antioxidantes, antifúngicas, antibacterianas, antivirais e anticancerígenas (Jasuja *et al.*, 2014; Hemlata *et al.*, 2020), exibindo assim potenciais usos nas indústrias farmacêuticas, biotecnológicas, cosméticas e alimentícias. Devido à sua grande razão entre área de superfície e volume e à capacidade de constituição de substâncias bioativas, essas nanoestruturas também foram exploradas como sistemas de entrega de moléculas terapêuticas (Ahmad *et al.*, 2010).

Em relação às atividades antimicrobianas diferentes estudos investigaram suas ações contra bactérias (Bardânia *et al.*, 2020; Nazer *et al.*, 2020; Panacek *et al.*, 2009) e espécies de protozoários (Adeyemi *et al.*, 2018) que apresentam utilizações importantes no desenvolvimento de novas tecnologias antimicrobianas e técnicas de biorremediação.

Apesar dos nanomateriais terem sido aplicados em setores industriais muito diversos, diferentes estudos têm demonstrado seus efeitos contra a saúde humana, animal (Martínez-Zapata *et al.*, 2020; Choi *et al.*, 2016) e contra o meio ambiente (Canesi *et al.*, 2015; Khosravi-Katuli *et al.*, 2017). Essas nanoestruturas podem ser bioacumuladas, causando vários efeitos tóxicos, os quais dependem diretamente de seu tamanho, forma, grau de hidrofobicidade e hidrofiliabilidade da superfície, razão massa/volume (densidade) e concentração. A produção causada por radicais livres, que está envolvida com o estresse oxidativo nas células, tem sido um dos efeitos mais relatados das nanopartículas metálicas aplicadas aos organismos vivos (Louro *et al.*, 2013; Hussain *et al.*, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma visão geral das aplicações, propriedades estruturais e métodos de síntese verde utilizados para obter nanopartículas, bem como os métodos analíticos aplicados para analisá-los, quantificá-los e caracterizá-los.

2.6 Síntese verde

A química verde é um campo significativo de pesquisa, oferecendo soluções simples, econômicas, com metodologia simplificada, biocompatível e ecologicamente amigável para a síntese de nanomateriais (Arif; Uddin, 2020). O termo “química verde” vem se popularizando desde a década de 1990, motivado pelo interesse dos pesquisadores em encontrar métodos mais ecológicos e sustentáveis, na síntese de nanopartículas de prata (Bamal, *et al.*, 2021).

Ao se tratar de nanopartículas, a síntese dessas estruturas pode ocorrer por três métodos: químico, físico e biológico (Das *et al.*, 2020). No método físico, são mantidas a temperatura, a pressão e a energia, o que demanda uma grande quantidade de energia, tomando esse método menos econômico. Já no método químico, são utilizados mecanismos como pirólise a laser, condensação atômica ou molecular, ataque químico, pulverização catódica, dentre outros. Os produtos químicos utilizados tendem a ser perigosos para a natureza, podendo causar danos ambientais (Das *et al.*, 2020; Saranavan *et al.*, 2020).

Já a síntese por método biológico, síntese verde ou biossíntese de nanopartículas, ao utilizar componentes orgânicos, torna-se uma alternativa mais viável, uma vez que é menos

prejudicial ao meio ambiente, já que não utiliza produtos químicos tóxicos, ou fontes de energias (Cruz; Gallio; Gatto, 2020; Saranavan *et al.*, 2020; Sena *et al.*, 2022).

O processo de síntese de nanopartículas pelo método biológico, com a utilização de extratos de origem vegetal ainda não é totalmente esclarecido, entretanto, subentende-se que as proteínas, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgânicos e os metabólitos secundários, como polifenóis e polissacarídeos presentes nesses extratos são os responsáveis pela redução dos sais metálicos e pela estabilização das nanopartículas, realizando estes dois processos concomitantemente (Cruz; Gallio; Gatto, 2020).

Os autores supracitados também citam como vantagem da síntese verde, a maior segurança do processo ao utilizar material orgânico, sendo mais adequado para produção em menor tempo para a realização da síntese, em detrimento do emprego de microrganismos, que além de serem potencialmente patogênicos, levam dias para realizar a redução de sais metálicos.

Na biossíntese são utilizadas várias fontes, como bactérias, algas, fungos e plantas (Bamal, 2021), e, no caso da biomassa vegetal, são utilizadas as enzimas, proteínas, polissacarídeos, aminoácidos e metabólitos secundários presentes em cascas, folhas, sementes e polpa (Viana, *et al.*, 2021). Nessa síntese a água é aplicada como um solvente, em substituição aos solventes orgânicos com teor de toxicidade, e os compostos biológicos atuam como agentes redutores e estabilizadores das nanopartículas metálicas utilizadas (Medeiros *et al.* 2021).

As propriedades antimicrobianas, anti-reumáticas, antivirais, bactericidas, diuréticas, expectorantes, hipertensivas e inseticidas e muitos extratos de origem vegetal são amplamente estudadas, tornando relevante pesquisas que busquem caracterizar e entender a síntese biológica de nanopartículas, utilizando produtos de origem vegetal, buscando principalmente a origem antimicrobiana (Qamer *et al.*, 2021).

A seleção de espécies vegetais a serem utilizadas para a síntese de nanopartículas magnéticas (NPMs) pela síntese biológica é baseada em alguns critérios como: plantas com maior distribuição geográfica, com propriedades antimicrobiana, antitumoral, antidiabética, contendo perfil fitoquímico, que fornece informações cruciais para determinação de seu poder redutor (Ombredane, 2016).

Pensando em um desenvolvimento bioeconômico que valorize e utilize os recursos naturais da floresta amazônica, deve-se considerar o potencial da diversidade da flora amazônica, com gêneros e espécies que apresentam constituintes fitoquímicos com possíveis ações bactericidas, antifúngicas, antiinflamatórias, entre outras propriedades medicinais, a serem utilizados como agentes redutores em processos de biossíntese (Sena *et al.*, 2022).

2.6.1 Síntese Verde Usando Microrganismos

Microrganismos, como (algas, bactérias e fungos.) têm sido usados como “bionanorreatores” para a síntese de nanopartículas usando métodos intracelulares e extracelulares (Reverberi *et al.*, 2017). A síntese extracelular é menos demorada, pois não é necessário romper a membrana celular para extrair as nanopartículas. Na visão extracelular, os íons metálicos são atraídos para grupos específicos presentes na superfície da membrana celular ou por moléculas que são secretadas pela célula do microrganismo. Esses grupos são responsáveis por reduzir os íons metálicos e estabilizar as nanopartículas.

Em contraste, a síntese intracelular consiste em transportar íons para dentro da célula microbiana para formar as nanopartículas na presença de enzimas produzidas pelo microrganismo (Reverberi *et al.*, 2017). Métodos que empregam linhagens de fungos e bactérias na biossíntese, quando comparado as algas, demonstraram que esses microrganismos apresentam melhor tolerância relacionada à bioacumulação de metais (Ahmad *et al.*, 2019).

Vários mecanismos de biossíntese de nanopartículas envolvendo biomoléculas foram propostos, mas o mais aceito envolve a redução de íons de prata dependente da enzima nitrato redutase (Kumar *et al.*, 2007; Kalimuthu *et al.*, 2008). A nitrato redutase é uma enzima dependente de nicotinamida adenina dinucleotídeo (NADH) envolvida na conversão de nitrato no ciclo do nitrato (Kumar *et al.*, 2007; Dúran *et al.*, 2005).

Este mecanismo enzimático de redutase de nitrato dependente de NADH em íons de prata também foi observado em *Bacillus licheniformis*. Extratos extras e intracelulares de fungos permitem a formação de estruturas variando de 6 a 40 nm de diâmetro, dependendo das condições experimentais e características do fungo (Molnar *et al.*, 2018).

Algumas espécies bacterianas, como *Pseudomonas aeruginosa* e *Rhodopseudomonas capsulata*, também têm sido aplicadas na síntese extracelular de nanopartículas metálicas com tamanhos variando entre 20 e 80 nm de diâmetro (Kumar *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2014).

2.6.2 Síntese Verde Usando Extratos Vegetais

A síntese verde de nanopartículas tem sido usada por fitomoléculas obtidas de diferentes fontes vegetais. As plantas contêm compostos bioativos, como alcaloides, flavonoides, polifenóis e terpenos (Nascimento *et al.*, 2020) que possuem um forte potencial redutor de íons metálicos (Rasheed *et al.*, 2017; Bankalgi *et al.*, 2016; Kuppusamy *et al.*, 2016; Sukumar *et al.*, 2020). Além disso, alguns desses compostos, assim como polissacarídeos e oligopeptídeos,

podem atuar como protetores e estabilizadores (Rasheed *et al.*, 2017); Kuppusamy *et al.*, 2016; Uthaman *et al.*, 2018).

Todas as partes das plantas têm sido utilizadas satisfatoriamente na reserva de nanopartículas, como caules, folhas, frutos e sementes, bem como diferentes espécies de plantas, como *Hibiscus rosa-sinensis*, *Ocimum tenuiflorum*, *Azadirachta indica*, *Mentha spicata*, *Maduca longifolia* e *Abelmoschus esculentus* (Philip *et al.*, 2009; Jayaseelan *et al.*, 2012). Rotas de síntese verde que empregam material botânico têm exigido a utilização de agentes protetores e redutores obtidos de espécies vegetais, que ajudam a melhorar a biocompatibilidade de nanoestruturas sintetizadas e substituir os agentes sintéticos clássicos, como o borohidreto de sódio e o citrato de sódio (Elia *et al.*, 2014).

Extratos das sementes de *Alpinia katsumadai*, uma espécie nativa da Índia, foram recentemente utilizados na síntese verde de AgNPs. Os autores obtiveram estruturas com formato esférico, com diâmetro médio de 12,6 nm que continham radicais livres, atividade antimicrobiana e atividade citotóxica contra linhagens celulares de carcinoma gástrico humano SGC-7901 (He *et al.*, 2017). Da mesma forma, os extratos das partes aéreas de *Lippia nodiflora* foram aplicados na síntese verde de AgNPs. Os autores obtiveram AgNPs com tamanhos variando entre 30 e 60 nm e reforça que a atividade inibitória contra o 2,2-difenil-1-picril-hidrazil-hidrato. Os radicais (DPPH) aumentaram com a concentração das nanopartículas, que tiveram atividade antioxidante de 67% na concentração de 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Essas estruturas também apresentaram atividade antioxidante contra o radical superóxido de aproximadamente 70% de inibição e o radical hidroxila de 75% na concentração de 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Sudha *et al.*, 2017).

Recentemente, um estudo realizou a síntese de nanopartículas derivadas de óxido de cobre (CuONPs) usando o extrato aquoso de *Isatis tinctoria*. As nanopartículas sintetizadas foram descobertas em uma forma esférica (Priya *et al.*, 2020). Nanopartículas de CuO também foram sintetizadas sob baixa temperatura usando folhas de *Caesalpinia spinosa* sem o uso de agentes redutores/estabilizadores específicos. Outro estudo sintetizou AgNPs usando um extrato aquoso obtido de partes aéreas de *Salvia leriifolia*. Nesta síntese, os componentes orgânicos presentes no extrato da planta, como fenóis, aminas e ácidos cítricos, são usados como agentes redutores (Taghavizadeh *et al.*, 2019).

Rehana *et al.* (2017) sintetizaram CuONPs utilizando diferentes extratos das folhas de *Azadirachta indica*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *Murraya koenigii*, *Moringa oleifera* e *Tamarindus indica* e avaliaram suas atividades antioxidantes usando DPPH, Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolína-6-sulfônico (ABTS), e ensaios de eliminação de peróxido de hidrogênio. Os

CuONPs sintetizados exibiram maior atividade antioxidante do que os extratos puros. Além disso, as nanopartículas apresentaram variações nas atividades antioxidantes devido à variação da composição química dos extratos (carboidratos, flavonoides, compostos fenólicos, glicosídeos, saponinas e taninos) (Rehana *et al.*, 2017).

Nanopartículas de ouro foram sintetizadas usando uma grande variedade de extratos vegetais (Sukumar *et al.*, 2020). Recentemente, *Euphrasia officinalis* foi aplicada satisfatoriamente para a síntese de AuNP (Liu *et al.*, 2019). O látex desta espécie atingiu condições ideais para a síntese de AuNP; como pH 7,0; a temperatura de 85° C, tempo de redução de 120 minutos, concentração de 3,3 mg-mL⁻¹ e concentração de precursor de 5,0 mmol-L⁻¹ (Santos *et al.*, (2019). Da mesma forma, AuNPs foram sintetizadas usando extrato de Sumac (*Rhus coriaria* L., família Anacardiaceae) sem adição de agentes protetores. Os autores obtiveram nanoestruturas em esferas com tamanho médio de 20,83 nm e verificaram a estabilidade dos sistemas de nanopartículas pelo potencial zeta, o qual apresentou valor igual a -25,3 mV. As NPs também apresentaram atividades antioxidantes dose-dependentes: inibição de DPPH igual a 13,43% na concentração de 25 µmol; e 85,73% na concentração de 800 µmol L⁻¹. O ensaio de sequestro de radicais ABTS apresentou 96,83% de inibição na concentração de 800 µmol L⁻¹ (Shabestarian *et al.*, 2017).

2.6.3 Síntese Mediada por Polímeros e Biomodelos

Polímeros (por exemplo: oligopeptídeos e poli 4-vinilpiridina) e biomodelos (por exemplo: capsídeos virais ou partículas semelhantes ao vírus) já foram usados como modelos para controlar a síntese de NPs e para definir suas formas finais. Chen *et al.* (2017) sintetizaram nanoanéis de ouro usando litografia coloidal e nanopartículas de automontagem assistida por polímero usando o polímero poli(4-vinilpiridina). Este método de descrição permite a produção em larga escala de nanoanéis e outras estruturas semelhantes controlando o diâmetro, altura e espaçamento dos anéis de ouro. Curiosamente, a síntese também conservou as características ópticas de ressonância plasmática e infravermelha das nanopartículas (Chen *et al.*, 2017).

Os capsídeos virais são estruturas formadas por proteínas que protegem o material genético dos vírus e essas estruturas também têm sido usadas para a síntese de nanopartículas metálicas. Esses capsídeos contêm sequências de oligopeptídeos com resíduos de aminoácidos ionizáveis em sua superfície, como cisteína, lisina e arginina, que atuam como agentes redutores de íons metálicos em pH alto, que facilitam a formação de aglomerados de nanopartículas (Slocik *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2016).

Em relação a esta técnica, Zhang *et al.* (2017), demonstraram que nanocages de proteínas virais (VPNs) são recipientes interessantes para encapsular nanomateriais por meio de encapsulamento de automontagem e mineralização. No caso da mineralização, a cavidade interna de VNPs serve como um nanorreator para a síntese de nanomateriais inorgânicos com tamanhos controláveis. Neste estudo, nanopartículas híbridas de ouro-prata foram biossintetizadas em vírus simio 40 (Cápsulas de proteína viral SV40) pelo método de automontagem usando como sementes, nanopartículas de ouro com 5,1 nm. Os autores obtiveram AuNPs e Au/AgNPs com diâmetro menor que 10 nm (Zhang *et al.*, 2017).

A aplicação de moléculas de DNA como nanomoldes na síntese de nanopartículas inorgânicas está na vanguarda dos métodos de síntese verde (Ahmad *et al.*, 2019). Esses métodos têm sido explorados para obter nanoestruturas metálicas na superfície da molécula de DNA, permitindo o agrupamento controlado por formar íons. A técnica de origami de DNA, por exemplo, usa uma semente de nucleação interna do metal que orienta o agrupamento limitando seu crescimento. Essa técnica é usada para obter nanopartículas de diferentes dimensões e formas (Sim *et al.*, 2019). Alguns métodos de síntese usam moléculas de DNA como agentes redutores, e nesses métodos, os íons metálicos carregados positivamente são adsorvidos na superfície da molécula de DNA. Os parâmetros usados para controlar a síntese, como concentração de DNA e tempo de ocorrência, são relevantes para a formação de nanoestruturas (Ahmad *et al.*, 2019; Wei *et al.*, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa foi experimental, exploratória e quantitativa. Tal pesquisa procurou responder a questões de maneira atualizada, oferecendo uma perspectiva sobre temas ainda não definidos, além disso a pesquisa exploratória fornece mais informações sobre o tema.

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

3.2 Área de estudo

As amostras foram obtidas por meio da coleta de folhas, flores e frutos da árvore cumaru durante o período chuvoso de março de 2020, época de floração na comunidade Vila Nova em Santarém-PA (2°30'32" S, 54°49' 38" W). Após a obtenção das amostras, elas foram transportadas para o herbário da UFOPA, onde a Dr. Cristina Aledi Falseburgh identificou como *Dipteryx odorata*, pertencente ao grupo Dipterixae do gênero *Taralea* dentro da subfamília Papilionoideae, família Leguminosaeae. Após identificação científica da espécie, as folhas foram escolhidas e separadas para preparação do extrato etanólico e serem feito os testes.

3.3 Preparação do Extrato Etanólico das Folhas de Cumaru

O extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata* foi preparado adicionando 150 g de folhas secas e trituradas a um frasco âmbar. Foi adicionado etanol (96,9%) para atingir um volume total de 1,00 L. A mistura foi deixada para reagir por 7 dias. Após esse período, o extrato final foi separado das partes sólidas por filtração, a quantidade de 750 ml de extrato foi armazenada em um frasco âmbar para posterior análise (Carlos *et al.*, 2005).

3.4 Ensaios fitoquímicos do extrato etanólico

O objetivo dos ensaios fitoquímicos é realizar testes visuais com base em especificações que determinados grupos apresentam, com resultados indicados como presentes ou ausentes (positivos ou negativos).

As frações do extrato alcoólico de *Dipteryx odorata* foram submetidas a investigações fitoquímicas baseadas nas metodologias de Moreira (1979), Costa (1986), Petrovick (2007) e Matos (2009). Os grupos químicos avaliados foram taninos e fenóis, flavonoides, saponinas e alcaloides.

3.5 Teste para taninos e fenóis

Teste 1: Em um tubo de ensaio, 2,0 mL do extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata* foram misturados com 3 gotas de uma solução metanólica de FeCl₃ (3%, m/v). A mistura foi deixada reagir por 10 min à temperatura ambiente de 37° C. A presença de fenóis e taninos foi determinada por uma mudança na coloração.

Teste 2: Em um tubo de ensaio, 2,0 mL do extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata* foram misturados com 2 gotas de HCl (1 mol L⁻¹) e 1 mL de solução de gelatina (2,5%, m /v) adicionada gota a gota. A formação de um precipitado indica ocorrência positiva para taninos.

3.6 Teste para flavonoides

Neste procedimento, diferentes áreas de um papel filtro foram umedecidas com o extrato etanólico das folhas de *Dipteryx. odorata*. Uma gota de solução etanólica de AlCl₃ (5%, m/v) foi então colocada em um dos pontos, e a observação foi feita sob luz UV. Os flavonoides aparecem como manchas de fluorescência amarela e/ou verde.

3.7 Teste para saponinas

2,0 g de folhas secas e trituradas de cumaru, foram fervidas com 10,0 mL de água destilada por 3 min. A solução foi então agitada vigorosamente na direção vertical por 15 s. Deixou-se em repouso por 15 min, e a altura da espuma foi marcada com caneta. A presença de espuma persistente indica a presença de saponinas.

3.8 Teste para alcaloides

O extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* foi concentrado e dissolvido em 3,0 mL de HCl (2%, 0,25 mol L⁻¹). Esta solução foi então dividida em três porções iguais, e reagente de Mayer, reagente de Dragendorff e solução de ácido silicotúngico foram adicionados

gota a gota a cada porção, respectivamente. Após o progresso, o aparecimento de um precipitado indicava resultado positivo.

3.9 Atividade antioxidante do extrato etanólico de *Dipteryx Odorata* folhas

3.9.1 Determinação do teor de fenólicos totais sem extrato

A determinação do teor total de fenólicos do extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* foi realizado de acordo com as metodologias de Sousa *et al.* (2007) e dos Santos *et al.* (2016). Em tubos de ensaio, 100 μL do extrato etanólico das folhas de cumaru ($0,015 \text{ mg mL}^{-1}$) foram adicionados a 500 μL de reagente Folin-Ciocalteu 10% (Sigma-Aldrich, Missouri, EUA) e 6,0 mL de água destilada. A mistura foi deixada reagir por 10 min, administrada pela adição de 2,0 mL de solução úmida de $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ 15%. A solução foi homogeneizada novamente, os tubos foram envoltos em papel alumínio e folhas em repouso por 2 h. As absorbâncias das amostras foram então medidas usando um espectrofotômetro UV/VIS (NOVA 3300, Brasil) a 760 nm, com etanol como branco. Todas as conclusões foram realizadas em triplicata. O conteúdo fenólico total foi determinado usando uma curva de ácido gálico como padrão e expresso em mg de equivalentes de ácido gálico por grama de folha (mg equiv. GA g^{-1}).

3.9.2 Determinação do teor total de flavonoides

A determinação do teor de flavonoides totais foi realizada de acordo com as metodologias de Chang *et al.* (2002) e Salgueiro *et al.* (2014) com algumas modificações. Em um tubo de ensaio, 2 mL de solução etanólica de AlCl_3 2,0% (m/v) foram aumentados a 1 mL do extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* ($0,015 \text{ mg mL}^{-1}$) e 1 mL de água destilada. Após 30 min, as absorbâncias das amostras foram medidas usando um espectrofotômetro UV/VIS (NOVA 3300, Brasil) a 415 nm, com etanol como branco. Todas as conclusões foram realizadas em triplicata. O conteúdo total de flavonóides foi determinado usando uma curva de quercetina como padrão e expresso em mg de equivalentes de quercetina por grama de folha (mg equiv. Q g^{-1}).

3.10 Avaliação da atividade antioxidante dos extratos pelo método DPPH

A atividade antioxidante foi avaliada com base na doação de hidrogênio ou capacidade de sequestro de radicais dos extratos. Para esta avaliação, 200 μL do extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* (15 mg mL^{-1} , $0,015 \text{ g mL}^{-1}$) foi adicionado a 2,8 mL de solução etanólica de DPPH ($6 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, Sigma-Aldrich, Missouri, EUA). A diminuição da absorção em 517 nm foi medida usando um espectrofotômetro UV-VIS (NOVA 3300, Brasil) até que a ocorrência atingisse um estado estacionário no escuro, de acordo com a metodologia de Bhakya *et al.* (2016). A atividade de eliminação de radicais livres foi expressa como uma porcentagem de inibição, específica usando a equação 1:

$$\% \text{Inibição de radicais livres} = 100 - \left[\frac{\text{Abscontrol} - \text{Absamostra}}{\text{Abscontrol}} \times 100 \right] \quad (1)$$

Foi elaborado uma curva utilizando diferentes concentrações de extrato ($0,01875$ a $0,1500 \text{ g mL}^{-1}$) para determinar a concentração de compostos de teste que podem inibir os radicais livres em até 50% dos radicais DPPH iniciais (IC50) ($y=455,827161x+21,877279$, $R^2=0,9520$). Os resultados também foram calculados a partir de uma curva analítica usando Trolox como padrão. Os resultados foram expressos em miligramas de Trolox por grama de folha seca ($\text{mg equiv. T g}^{-1}$).

3.11 Poder antioxidante redutor de ferro (FRAP) dos extratos

O poder antioxidante redutor férrico é um método utilizado para medir a capacidade dos antioxidantes apresentado no extrato estudado de redução do ferro (Fe^{3+}) para a forma Fe^{2+} , que complexo com TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) formando um complexo azul intenso Fe^{2+} -TPTZ (a absorção é lida a 593 nm), seguindo uma metodologia adaptada de Salari *et al.* (2019). O reagente FRAP foi preparado conforme descrito por Rufino *et al.* (2006), adicionando 25 mL de solução aquosa de acetato $0,3 \text{ mol L}^{-1}$, 2,5 mL de solução de TPTZ 10 mmol L^{-1} em HCl 40 mmol L^{-1} (Sigma-Aldrich, Missouri, EUA) e 2,5 mL de solução aquosa de FeCl_3 20 mmol L^{-1} .

Para o procedimento, foram utilizados 2,7 mL do reagente FRAP e 300 μL do extrato etanólico de *Dipteryx odorata* (15 mg mL^{-1}) foram adicionadas a um tubo de ensaio, que foi então colocado em banho-maria por 15 min a 37°C e posteriormente lido em espectrofotômetro UV-VIS (NOVA 3300, Brasil) a 593 nm. A absorbância das amostras foi comparada a uma curva padrão de FeSO_4 ($0,00$ a $2,00 \text{ mmol L}^{-1}$), e os valores de FRAP foram expressos em $\text{mmol Fe(II) g}^{-1}$ de extrato. Além disso, foi utilizada uma curva padrão de Trolox ($0,00$ a $0,233 \text{ mg mL}^{-1}$), e os valores de FRAP foram expressos em $\text{mg equiv. T g}^{-1}$ e $\mu\text{mol equiv. T g}^{-1}$ de folhas.

3.12 Síntese verde de AgNPs

Em relação à etapa de otimização da síntese verde, diferentes parâmetros foram avaliados para determinar a condição ideal levando em consideração a possível influência de concentração do extrato aquoso e equipamento e/ou fonte de energia utilizada durante uma síntese que pode estar correlacionado com as características finais das AgNPs sintetizadas pela rota biogênica.

Inicialmente, o efeito da concentração do extrato foi avaliado por meio de dois métodos: (I) 100 µL de extrato etanólico de cumaru (0,15 g mL⁻¹) e 9,90 mL de AgNO₃ 1,0 mmol L⁻¹ e (II) 200 µL Foi utilizado 1 L de extrato etanólico de cumaru (0,15 g mL⁻¹) e 9,80 mL de AgNO₃ 1,0 mmol L⁻¹, resultando em um volume final de 10 mL.

O efeito da fonte de energia durante o experimento foi avaliado utilizando as duas concentrações do extrato mencionado acima, juntamente com duas fontes de energia diferentes: luz solar (AgNP-S) (com temperatura entre 26 a 32° C) e banho-maria (AgNP-BM) (50° C). A formação de AgNPs foi avaliada usando um espectrofotômetro (NOVA 3300, Brasil) em um comprimento de onda de 450 nm durante a síntese inicial e a cada 30 min ao longo de 180 min.

3.13 Caracterização de AgNPs

3.13.1 Espectroscopia UV/VIS

Após a conclusão dos testes, medidas espectrofotométricas foram realizadas para todas as amostras e controles experimentais dentro de uma faixa de 350-500 nm, com intervalos de 10 nm, para construir curvas de avaliação e identificar as bandas de avaliação máximas dos AgNPs potencialmente formados. Os dados adquiridos foram analisados usando o software Microsoft Excel, versão 2016.

3.13.2 Análise de espectroscopia infravermelha por transformada de Fourier (FTIR)

Os perfis de ligação química/interações de grupos funcionais presentes na superfície de AgNPs foram analisados usando um espectrofotômetro infravermelho de transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu, IR Prestige), no modo de reflectância total atenuada (ATR). Uma pequena quantidade da amostra de AgNPs (1 gota) foi depositada diretamente na placa de cristal

de ATR de diamante, o qual foi cuidadosamente limpa com clorofórmio para eliminar a presença de resíduos de óleo entre a concentração e seca com nitrogênio gasoso após cada experimento para garantir uma superfície de cristal limpa e obter os melhores espectros de amostra possíveis.

3.13.3 Análise por Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET)

As AgNPs-S (sintetizadas usando luz solar) foram submetidas à análise MET para identificação morfológica. Em resumo, 10 μL de suspensão de AgNPs foram depositados em um grau revestido de Formvar/carbono e colocados sobre papel filtro dentro de placas de Petri, as quais foram então colocados em uma estufa a 60° C por 20 min para facilitar a secagem. Após esse tempo e atualização das notas, as imagens foram adquiridas usando um microscópio eletrônico de transmissão (Tecnai 12 - FEI 120 kV) no Instituto de Estudos Avançados do Mar da Unesp (IEAMar/UNESP, SP). Seis regiões diferentes de cada grau foram evidenciadas e o diâmetro das AgNPs foi medido usando o software Image J para analisar 6 imagens. O diâmetro de 52 AgNPs foi medido, e os valores foram usados para construir o gráfico de distribuição de tamanho de frequência e para calcular a distribuição normal para a média e o desvio padrão usando o software Microsoft Excel.

3.13.4 Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) de AgNPs

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

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

A microdiluição em caldo consistiu na adição de 50 μL de MH em poços de uma microplaca de 96 poços, seguida da adição de 50 μL de cada amostra no primeiro poço da placa, totalizando 100 μL . Em seguida, 50 μL desta solução foram transferidos para o próximo poço,

e assim por diante, resultando em uma diluição seriada com sete faixas de diluição tanto para AgNPs quanto para AgNO_3 ($42,5 - 0,33 \mu\text{g mL}^{-1}$). Uma solução salina contendo bactérias foi diluída para uma concentração de $1 \times 10^6 \text{ UFC mL}^{-1}$ em MH. 50 μL desta solução bacteriana foram aumentados em cada poço, completando o volume das amostras em cada poço.

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

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes fitoquímicos do extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata*

Os resultados dos testes fitoquímicos para identificação de grupos de metabólitos secundários presentes e ausentes no extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados de testes fitoquímicos para identificação de grupos de metabólitos secundários presentes e ausentes no extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata*.

Amostras	Compostos fenólicos	Taninos	Flavonóides	Alcaloides	Saponinas
Extrato etanólico	+	+	+	-	+

*Na tabela, "+" indica presença; "+/-" presença indica falha e "-" indica ausência.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Foi constatada a presença de compostos fenólicos como, taninos, flavonoides e saponinas no extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata*; no entanto, alcaloides não foram identificados. Estudos confirmaram a presença desses compostos no gênero *Hymenaea* (Jatobá), o qual é fonte de compostos fenólicos (Miranda *et al.*, 2014). A planta aroeira também contém essas substâncias, com evidências da presença de taninos, flavonoides e óleos essenciais (dos Santos *et al.*, 2007).

Nos ensaios de ocorrência da gelatina para identificação de taninos, o extrato etanólico de *Dipteryx odorata* apresentou resultado positivo com alta intensidade. Entretanto, para os testes de flavonoides e alcaloides, os resultados foram menos pronunciados. Lucca *et al.* (2012) utilizaram o mesmo teste (PEW) para determinar flavonoides em plantas de *Solidago chilensis* (Arnica) e obtiveram resultados negativos para esta espécie.

Freitas e Naves (2010) realizaram o teste de Índice de Espuma para validar a presença de saponinas em sua amostra por meio da observação da persistência da espuma, o que se mostrou altamente eficaz. Na pesquisa de Teixeira *et al.* (2021), o teste de coloração e variação dos extratos utilizando o reagente de Drangendorff foi utilizado para a detecção de alcaloides nas amostras obtidas em seu estudo.

4.2 Atividade antioxidante do extrato etanólico de *Dipteryx odorata* folhas

O extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* teve um teor total de compostos fenólicos de $55,04 \pm 4,80$ mg equiv. GA g⁻¹ de folha. Sousa *et al.* (2023) avaliaram os teores de compostos fenólicos em extratos etanólicos de folhas, ramos e frutos de *Dipteryx punctata* encontrados em Mojuí dos Campos (02°68'472"S e 54°54'31"W) e obtiveram valores de 51,76, 48,45 e 25,07 mg equiv. GA g⁻¹, respectivamente.

Valores muito próximos aos encontrados neste estudo. Souza *et al.* (2007) determinaram os teores totais de compostos fenólicos em extratos etanólicos de diferentes espécies de plantas medicinais e obtiveram valores de 66,14, 38,53 e 38,70 mg equiv. GA g⁻¹ de folha para *Cenostigma macrophyllum* Tul, *Terminalia brasiliensis* Camb e *Qualea grandiflora* Mart, respectivamente.

De acordo com Scroccarello *et al.* (2021), os teores totais de compostos fenólicos e as espécies de compostos fenólicos são importantes para gerar e estabilizar AgNPs, pois, os teores totais de compostos fenólicos e as espécies de compostos fenólicos desempenham um papel crucial na síntese e estabilização de nanopartículas de prata (AgNPs) devido às suas propriedades redutoras e estabilizadoras.

Compostos fenólicos, como flavonoides e taninos, possuem grupos hidroxila (-OH) em sua estrutura, os quais têm capacidade de doar elétrons. Esse processo de doação de elétrons ajuda na redução dos íons prata (Ag⁺) em prata metálica (Ag⁰), promovendo a formação das AgNPs. Quanto maior a concentração de compostos fenólicos, maior é o potencial redutor, facilitando a formação de nanopartículas de prata.

O teor total de flavonoides no extrato etanólico das folhas de *Dipteryx odorata* foi de 53,12 ± 1,41 mg de equivalente a quercetina por grama de folha. Souza *et al.* (2023), utilizando rutina (Ru) como padrão, obteve valores de 115,41 mg equiv. Ru g⁻¹ de folha para *Dipteryx punctata*. O extrato etanólico de folhas *Dipteryx odorata* apresentou boa atividade antioxidante pelo método DPPH, com IC₅₀ de 61,70 µg mL⁻¹, enquanto o padrão Trolox apresentou um IC₅₀ de 333,46 µg mL⁻¹. Expressando os resultados em mg equivalentes de Trolox por grama de folha seca, obteve-se um valor de 5,16 ± 1,49 mg equiv. g⁻¹.

Gonzales *et al.* (2005) encontraram valores de IC₅₀ de 69,50 e 85,50 µg mL⁻¹ para extratos aquosos de *Stevia macbridei* e *Ageratina sternbergiana*, respectivamente. Guchu *et al.* (2020) avaliaram as atividades antioxidantes de extratos metanólicos de *Caesalpinia volkensii*, *Vernonia lasiopus* e *Acacia hockii* e encontraram valores de IC₅₀ maiores que os deste estudo (250,00, 240,00 e 120 µg mL⁻¹, respectivamente).

Scapin *et al.* (2024), avaliando uma atividade antioxidante do extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata*, encontrou valores inferiores aos específicos em outros estudos, com IC₅₀ de 2,98 µg mL⁻¹, enquanto o valor de IC₅₀ para o padrão Rutina foi de 11,92 µg mL⁻¹. Coco *et al.* (2022) avaliaram a atividade antioxidante do extrato etanólico de nozes de *Dipteryx alata* e obtiveram IC₅₀ de 80,00 µg mL⁻¹.

O poder antioxidante redutor do ferro do extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* foi de 89,30 ± 3,66 mmol Fe²⁺ por grama de folha. Esses valores foram semelhantes a muitos

estudos na literatura para diferentes espécies de plantas, apesar de esse extrato ter boa atividade redutora para a propriedade de AgNPs.

Al-Mansoub *et al.* (2021) avaliaram a composição química e a atividade antioxidante do extrato etanólico de sedimentos resinosos de inflorescências jovens de *Etlingera elatiore* encontrou os seguintes resultados: teor total de compostos fenólicos de 65,95 mg equiv. GA g⁻¹ de extrato, teor total de flavonoides de 20,53 mg equiv. Q g⁻¹ de extrato e atividade antioxidante redutora de ferro de 281,79 $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ por grama de extrato.

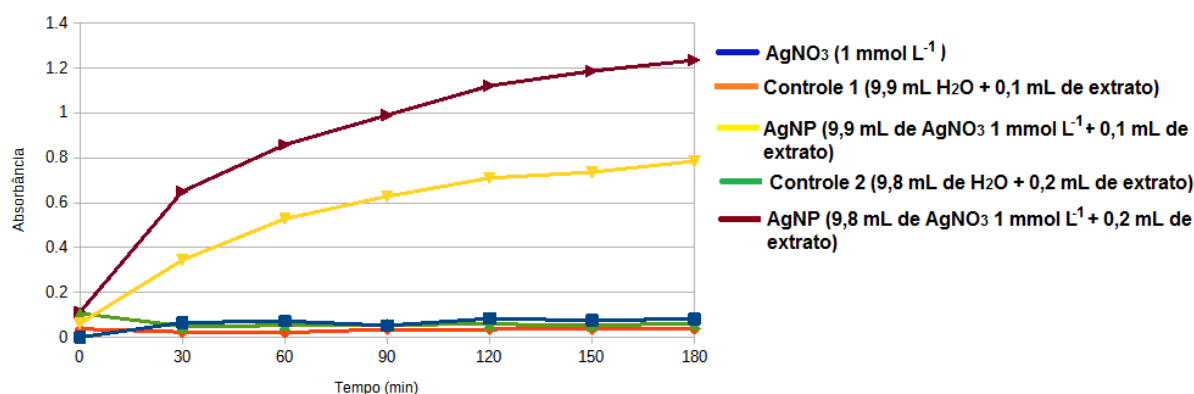
O extrato etanólico de folhas de *Dipteryx odorata* apresenta excelente potencial para reduzir Ag⁺ a Ag⁰, bem como estabilizar os AgNPs sintetizados.

4.3 Caracterização de AgNPs

4.3.1 Análise espectrofotométrica UV/VIS

As curvas cinéticas de síntese das nanopartículas de prata (AgNPs), produzidas a partir dos extratos aquosos das folhas de *Dipteryx odorata*, e seus controles experimentais, foram avaliadas por espectroscopia UV/VIS. A absorbância foi medida a 450 nm durante 180 min, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Curvas cinéticas de monitoramento das reações de síntese de AgNPs a partir do extrato aquoso das folhas de *Dipteryx odorata* e seus controles durante 180 min a 450 nm. A síntese foi realizada em banho-maria a 70° C, com 1 mmol L⁻¹ de AgNO₃ e 0,15 g mL⁻¹ de extrato aquoso.

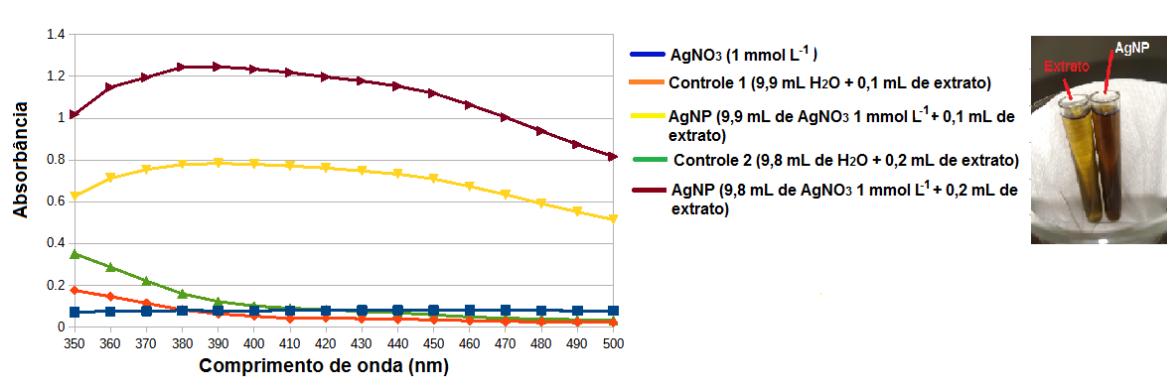


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Ao longo do tempo, observou-se um aumento da absorção das AgNPs sintetizadas, sem tendência à estabilização das linhas de absorção, o que não foi observado para os controles (1 mmol L⁻¹AgNO₃ e extrato etanólico). Nesse sentido, é possível inferir que o processo de redução dos íons Ag⁺ a Ag⁰ (prata coloidal) está ocorrendo concomitantemente ao estágio de crescimento do AgNPs (Patil *et al.*, 2017).

Os espectros de absorvância das AgNPs e seus respectivos controles na faixa entre 350 e 500 nm registrados logo após o tempo para averiguar a banda de máxima absorção das amostras são mostrados na Figura 4.

Figura 4 - Curvas de absorção na região do UV/VIS das AgNPs sintetizadas a partir do extrato aquoso das folhas de *Dipteryx odorata* e seus controles após 180 minutos de reação. A síntese foi realizada em banho-maria a 70° C, com 1 mmol L⁻¹ de AgNO₃ e 0,15 g mL⁻¹ de extrato aquoso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

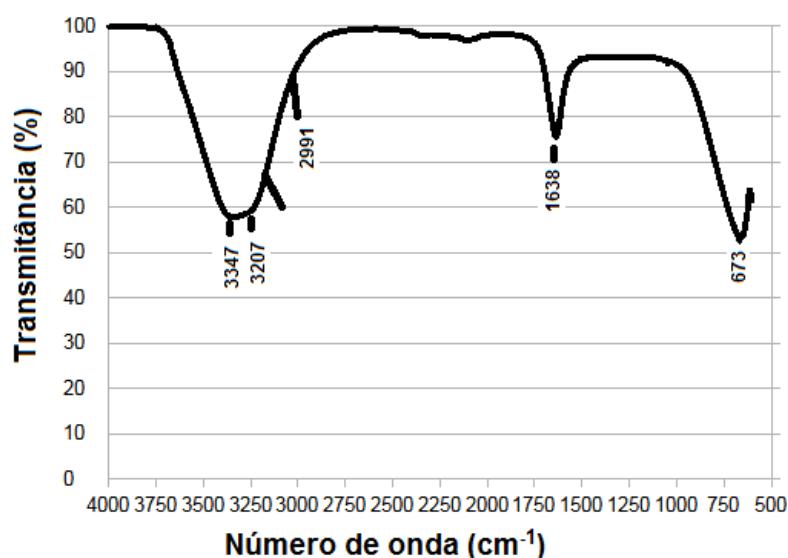
Agnihotri *et al.* (2018) sintetizaram AgNPs a partir de abacaxi e obtiveram bandas de absorção mais intensas em 411 nm. Essa maior absorvância na região em torno de 410 a 440 nm está associada a ressonância plasmônica de superfície (RPS). A RPS pode ser descrita como a flutuação aleatória dos elétrons livres nas AgNPs, resultante da interação com a luz incidente. Esse fenômeno é responsável pelas mudanças de cor observadas durante a reação e pelo aumento da absorção das AgNPs. Sua manifestação pode ser influenciada por uma variedade de fatores, incluindo o tamanho, a forma e a concentração dos componentes na suspensão, bem como a temperatura utilizada na síntese (Behravan *et al.*, 2019; Vanlalveni *et al.*, 2018).

4.3.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A análise de FTIR foi realizada para identificar os grupamentos funcionais com possibilidade de estarem envolvidos na síntese das AgNPs. Os espectros de FTIR das AgNPs exibiram bandas de absorvância entre 3250 e 3500 cm⁻¹ (referente ao estiramento de ligação O-H/N-H de compostos fenólicos), entre 3050 e 3150 cm⁻¹ (referente ao estiramento de ligação C-H de compostos aromáticos), 2904 e 2950 cm⁻¹ (referente ao estiramento de ligação C-H de grupos metineno ou alifáticos), 1693 e 1591 cm⁻¹ (referente a estiramento de grupos carbonila (C=O) de anéis aromáticos, mas também pode corresponder a amins aromáticas (N-H) e ligações carbono-carbono (C=C) de compostos aromáticos). Um pico em 1638 cm⁻¹ indica a

formação de AgNPs, sendo que a oxidação de grupos poliál em grupos carbonila insaturados leva aparecimento de uma banda na região de 1640 cm^{-1} devido à redução de íons Ag^+ (Singh *et al.*, 2015) (Figura 5).

Figura 5 - Espectro de FTIR das AgNPs sintetizadas a partir do extrato etanólico das folhas da *Dipteryx odorata*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

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

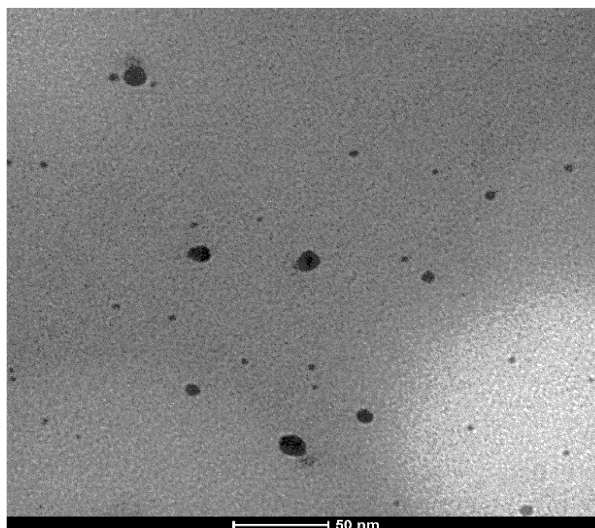
Por outro lado, os ácidos fenólicos, os quais fazem parte da família dos polifenóis, têm uma estrutura química que facilita a formação de complexos com íons metálicos através do efeito de ressonância de elétrons livres. Além disso, podem ocorrer interações entre íons de prata e os grupos hidroxila (OH) presentes nos anéis aromáticos dos ácidos fenólicos. Esses processos podem resultar em oxidação seguida de biorredução desses íons (Edison e Sethuraman, 2012; Wang *et al.*, 2007).

4.3.3 Microscopia eletrônica de transmissão (MET)

As AgNPs foram caracterizadas quanto ao tamanho e à morfologia por meio de microscopia eletrônica de transmissão (MET). As micrografias obtidas (Figura 6) revelaram

que as AgNPs possuem uma forma predominantemente esférica, com tamanhos bastante homogêneos. Além disso, não foram observados aglomerados nas imagens, o que sugere que a suspensão de AgNPs manteve sua estabilidade coloidal durante a análise. A curva de distribuição de tamanhos indicou que a maioria das nanopartículas apresentava diâmetros variando entre 7 e 12 nm, evidenciando a consistência na síntese das AgNPs.

Figura 6 - Micrografia de Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) das AgNPs e curva de distribuição de tamanhos encontrados medindo 52 nm, partículas de diferentes micrografias usando o software Image J. As colunas indicam a frequência, e a linha preta mostra a distribuição normal para a média (8 nm) e desvio padrão (4 nm) dos diâmetros de AgNPs medidos. A síntese foi produzida em luz solar (AgNP-S) (com temperatura entre 26 a 32° C), com 1 mmol L⁻¹ de AgNO₃ e (a) 100µL de extrato etanólico (0,15 g mL⁻¹) e (b) 200µL de extrato etanólico (0,15 g mL⁻¹).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.4 Propriedades coloidais (DLS) e potencial Zeta de superfície

A técnica DLS foi empregada para avaliar as diferenças de tamanho de partículas em meio aquoso, e o potencial Zeta foi usado para analisar sua carga superficial no meio em cada uma das sínteses, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Diâmetro hidrodinâmico, índice de polidispersão e potencial Zeta de AgNPs sintetizados.

Amostras	Diâmetro hidrodinâmico (HD) (nm)	Índice de polidispersão (PdI)	Potencial Zeta (mV)
AgNPs (BM)	130 ± 4	0.113 ± 0.05	-7.2 ± 0,9
AgNPs (UV)	143,5 ± 1	0.206 ± 0.03	-9 ± 1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Uma análise DLS das AgNPs sintetizadas revelou um tamanho hidrodinâmico entre 130,3 e 143,5 nm e valores de PDI de 0,113 e 0,206, respectivamente para a síntese em banho-maria e sob luz solar. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Asong *et al.* (2023) ao sintetizar AgNPs a partir do extrato da folha de *Cullen Tomentoso* (DH de 145 nm e valor de PDI de 0,236) bem como por Banerjee *et al.* (2017) ao sintetizar AgNPs do extrato da folha de *Mentha arvensis* (DH de 145 nm e valor de PDI de 0,226). Quando os valores de PDI estão abaixo de 0,3, as amostras são consideradas aceitáveis para administração como medicamento e sugerem que a suspensão é dinâmica (Asong *et al.*, 2023).

El Khoury *et al.* (2015) sintetizaram AgNPs a partir da curcumina, que foram posteriormente estabilizadas com um revestimento de polivinilpirrolidona (PVP), apresentando um diâmetro hidrodinâmico próximo a 294 nm com uma polidispersividade de 0,302. Essa maior polidispersividade é esperada quando os AgNPs não apresentam homogeneidade de tamanho.

O potencial Zeta indica carga superficial de partículas em suspensão. Os dados do potencial Zeta de superfície das AgNPs sintetizadas indicaram que todas as partículas continham níveis em meio aquoso, com valores variando de -7,17 a -9,06 mV. Essa medição é feita pela presença de grupos ionizáveis ou adsorvidos na superfície das partículas e se correlaciona com a repulsão eletrostática entre as diferentes cargas presentes no sistema e consequente estabilidade (Ghaffari-Moghaddam *et al.*, 2014). Segundo Gengan *et al.* (2013), um potencial Zeta próximo de ± 30 mV indica um sistema estável. Entretanto, quanto mais próximo o potencial Zeta for de 0 mV, maior a chance de aglomeração de partículas (Hanaor *et al.*, 2012).

Singh *et al.* (2015) obtiveram AgNPs sintetizados com extrato de folhas de *Lantana câmara* com um potencial Zeta de -36,6 mV. Al-Brahim e Mohammed (2020) sintetizaram AgNPs a partir de mel da espécie *Ziziphus spina-christi L* e *gerrardii Acacia*, e os resultados mostraram nanoestruturas com diâmetros entre 50,5 e 78,2 nm, com potencial Zeta próximo do neutro. Sarkar *et al.* (2018) sintetizaram AgNPs a partir de extratos de folhas de *Madhuca longifolia* e obtiveram cerâmicos hidrodinâmicos de 103,5 nm e potenciais Zeta de -9,57 mV, valores muito próximos aos encontrados neste estudo.

De acordo com Albernaz (2014), um alto valor de módulo do potencial Zeta, combinado com um PDI moderado ou baixo, pode ser considerado evidência de alta estabilidade coloidal de AgNPs e, portanto, baixa incidência de agregação de NPs. Aqui, apesar dos valores baixos

do potencial Zeta, o PDI foi baixo, o que ocorre com as micrografias MET em que nenhum agregado de AgNPs foi apresentado.

4.5 Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) de AgNPs

A CIM e a CBM das AgNPs foram determinadas para as cepas *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. As AgNPs-BM (sintetizadas em banho maria, 70° C) e as AgNPs-S (sintetizadas sob radiação solar) apresentaram melhores atividades antibacterianas frente a *Escherichia coli* (Gram-negativa) em relação a *Staphylococcus aureus* (Gram-positiva). As AgNPs-S apresentaram menores valores de CIM e CBM (2.65 e 2.65 $\mu\text{g mL}^{-1}$) em relação às AgNPs-BM (3.90 e 5.27 $\mu\text{g mL}^{-1}$) frente a *Escherichia coli*. Em relação a *Staphylococcus aureus* não houve diferença entre a CIM (5.27 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e CBM (21.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$) para ambas as AgNPs (Tabela 3). Nossos resultados foram mais satisfatórios do que os relatados em um estudo recente onde AgNPs biogênicas sintetizadas por rotas utilizando banho-maria e luz solar e explorando o extrato foliar de *Paullinia cupana*, outra planta com ocorrência na Amazônia, apresentaram CIM entre 5.31 e 21.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para a bactéria *Escherichia coli* e entre 10.62 e 21.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para *Staphylococcus aureus* (Lima *et al.*, 2024).

Em relação ao controle AgNO_3 quando exposto a *Escherichia coli* (CBM: 21,25 $\mu\text{g mL}^{-1}$), este apresentou maior resistência em comparação ao *Staphylococcus aureus* (CBM: 10,60 $\mu\text{g mL}^{-1}$). Em relação à bactéria *Staphylococcus aureus*, o AgNO_3 apresentou maior atividade antibacteriana do que as AgNPs. Esses achados são consistentes com estudos anteriores que indicam maior sensibilidade de bactérias Gram-negativas aos AgNPs. Isso ocorre porque a parede celular dessas bactérias é composta por uma espessa e única camada de peptidoglicano, tornando-a menos rígida e facilitando a penetração de agentes em nanoescala, como os AgNPs (Veeramani *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2020).

Tabela 3 - Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração bactericida mínima (CBM) das AgNPs sintetizadas a partir do extrato aquoso das folhas de *D. odorata*.

Microrganismo	CIM/CBM ($\mu\text{g mL}^{-1}$)					
	AgNPs-BM		AgNPs-UV		AgNO ₃	
	CIM	CBM	CIM	CBM	CIM	CBM
<i>E. coli</i>	3,90	5,27	2,65	2,65	10,60	21,25
<i>S. aureus</i>	5,27	21,25	5,27	21,25	10,60	10,60

*AgNPs-BM (sintetizados em banho-maria, 70°C) e AgNPs-S (sintetizados sob radiação solar UV).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Loo *et al.* (2018) avaliaram as atividades antibacterianas de AgNPs sintetizadas a partir do extrato aquoso de folhas de chá Pu-erh (*Camélia sinensis*) contra bactérias patogênicas transmitidas por alimentos. O CIM e CBM desses AgNPs contra *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* foram de 7,80 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Gomma (2017) avaliou a atividade de AgNPs contra o crescimento de bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* e descobriu que uma dose de 25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de AgNPs prejudicava o crescimento melhorando menor do que o controle, enquanto o tratamento com 50 e 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de AgNPs inibiu o crescimento bacteriano. Kaweeteerawat *et al.* (2017) observaram a possibilidade do surgimento de cepas resistentes a AgNPs após exposição a doses subletais (menos de 12 $\mu\text{g mL}^{-1}$).

Panacek *et al.* (2018) observaram o aumento da resistência de *Escherichia coli* anteriormente exposta a doses subletais de AgNPs, refletido principalmente no valor de seu CIM, que aumentou de 3,38 para 13,5 $\mu\text{g mL}^{-1}$ após replicações de cultura. A concentração de AgNPs desempenha um papel importante na atividade antimicrobiana; no entanto, é importante notar que essa atividade aumenta com a diminuição do tamanho dessas nanopartículas (aumento da razão superfície-volume) (Azam *et al.*, 2012). Souza *et al.* (2022) descobriram que extratos obtidos das folhas de *Dipteryx odorata* e *Dipteryx punctata* não apresentaram atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Burkholderia cepacia* e *Pseudomonas aeruginosa*. Em relação ao controle AgNO_3 quando exposto à *Escherichia coli* (CBM: 21.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$) apresentou maior resistência em comparação a *Staphylococcus aureus* (CBM: 10.60 $\mu\text{g mL}^{-1}$). Em relação à bactéria *Staphylococcus aureus*, o AgNO_3 apresentou maior atividade antibacteriana do que as AgNPs. Esses achados corroboram com estudos anteriores que indicam uma maior sensibilidade das bactérias Gram-negativas às AgNPs. Isso se deve ao fato de que a parede celular dessas bactérias é constituída por uma única camada de peptidoglicano, tornando-a menos rígida e facilitando a penetração de agentes nanoescala, como as AgNPs (Veeramani *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2020).

5 CONCLUSÃO

Os ensaios fitoquímicos do extrato etanólico de *Dipteryx odorata* folhas revelaram a presença de compostos fenólicos, taninos, flavonoides e saponinas, enquanto alcalóides não foram identificados. O extrato mostrou atividade antioxidante significativa, com altos teores totais de fenólicos e flavonoides, indicando seu potencial para várias aplicações, incluindo a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs).

A caracterização das AgNPs sintetizadas confirmou sua formação bem-sucedida, as quais exibiram formas esféricas com bordas bem definidas e monodispersivas. Compostos fenólicos e flavonoides do extrato estabilizaram as AgNPs, contribuindo para sua estabilidade coloidal. As AgNPs apresentaram tamanhos hidrodinâmicos entre 130,3 e 143,5 nm, baixos valores de índice de polidispersão (PDI) e potencial Zeta negativo, indicando suspensões dinâmicas e derivadas em meios aquosos.

Os testes de atividade antibacteriana mostraram que os AgNPs foram eficazes contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, com valores mais baixos de CIM e CBM para *Escherichia coli*. Isso destaca o potencial das AgNPs sintetizadas a partir do extrato de *Dipteryx odorata* como agentes antibacterianos eficazes, especialmente contra bactérias Gram-negativas. No geral, o estudo sublinha *Dipteryx odorata* como um recurso valioso para sintetizar AgNPs com aplicações promissoras em biomedicina e outros campos, contribuindo para o conhecimento da bioatividade e do potencial terapêutico de produtos vegetais naturais.

Esse estudo se torna primordial para nos dar opções para continuarmos a pesquisa, utilizando novos métodos que venham contribuir com a melhoria na síntese e na eficiência das nanopartículas de prata, além de explorar mais fundo das propriedades bioativas do *Dipteryx odorata*.

REFERÊNCIAS

- ABOYEWA, J. A. *et al.* Síntese verde de nanopartículas metálicas usando algumas plantas medicinais selecionadas da África do Sul e suas aplicações biológicas. **Plants**, v. 10, n. 9, p. 1929, 2021.
- ADEYEMI, O. S. *et al.* Nanopartículas metálicas restringem o Crescimento de Parasitas Protozoários **Células artificiais, nanomedicina e biotecnologia**, v. 46, n. sup3, p. 86-94, 2018.
- AGNIHOTRI, S. *et al.* Potencial fotocatalítico e antibacteriano de nanopartículas de prata derivadas de resíduos de abacaxi: otimização de processo e cinética de modelagem para remoção de corante. **Nanociência Aplicada**, v. 8, n. 8, p. 2077-2092, 2018.
- AHMAD, M. Z. *et al.* Nanopartículas metálicas: Visão geral da tecnologia e aplicações de administração de medicamentos em oncologia. **Opinião de especialista na entrega de medicamentos**, v. 7, n. 8, p. 927-942, 2010.
- AHMAD, S. *et al.* Nanotecnologia Verde: Uma Revisão sobre a Síntese Verde de Nanopartículas de Prata — Uma Abordagem Ecologicamente Correta. **Revista internacional de nanomedicina**, p. 5087-5107, 2019.
- AL-BRAHIM, J. S.; MOHAMMED, A. E. Potenciais antioxidantes, citotóxicos e antibacterianos de nanopartículas de prata biossintetizadas usando mel de abelha de duas fontes florais diferentes na Arábia Saudita. **Revista saudita de ciências biológicas**, v. 27, n. 1, p. 363-373, 2020.
- AL-MANSOUB, M. A. *et al.* Composição química, atributos antiproliferativos e antioxidantes do extrato etanólico do sedimento resinoso da inflorescência de *Etilingera elatior* (Jack.). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 57, p. e18954, 2021.
- AMIGO, S.; TAK, Y. K.; SONG, J. M. A atividade antibacteriana das nanopartículas de prata depende do formato da nanopartícula? Um estudo da bactéria Gram-negativa *Escherichia coli*. Aplicação. **Ambiente. Microbiol.** 2007, 73 (6), 1712–1720.
- ARAÚJO, S. de O. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas da madeira tratada termicamente de *Aspidosperma populifolium*, *Dipteryx odorata* e *Mimosa scabrella*. Madeiras: **Ciência e Tecnologia. Conceção**, v. 18, n. 1 p. 143-156, 2016.
- ARIF, R.; UDDIN, R. Uma revisão sobre desenvolvimentos recentes na biossíntese de nanopartículas de prata e suas aplicações biomédicas. **Médico, Dispositivos e Sensores**. v. 4, e. 10158, p. 1-20, 2020.
- ASHIDA, T. *et al.* Síntese e caracterização de nanopartículas Rh(PVP) estudadas por XPS e NEXAFS. **Ciência de Superfície**, v. 601, n. 18, p. 3898-3901, 2007.
- ASONG, J. A. *et al.* Síntese Verde de Nanopartículas de Prata Caracterizadas Utilizando *Cullen tomentosum* e Avaliação de Sua Atividade Antibacteriana. **Antibióticos**, v. 12, n. 2, p. 203, 2023.

ASORO, M. A.; KOVAR, D.; FERREIRA, P. J. Observações de microscopia eletrônica de transmissão in situ de sublimação em nanopartículas de prata. **ACS nano**, v. 7, n. 9, p. 7844-7852, 2013.

AZAM, A. *et al.* Atividade antimicrobiana de nanopartículas de óxido metálico contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas: um estudo comparativo. **Revista internacional de nanomedicina**, p. 6003-6009, 2012.

AZEVEDO, I. M. G. de; BARBOSA, A. P. B. M.; DE MENDONÇA, S. Produção de mudas de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd com alto Padrão de Qualidade, Possibilitando Valorização Ambiental. **Revista Internacional de Meio Ambiente, Agricultura e Biotecnologia**, p. 2201-2213, 2018.

BALASOORIYA, E. R. *et al.* Síntese Verde de Nanopartículas Mediada por Mel: Nova Era de Nanotecnologia Segura. **Revista Nanomáter.** p. 1–10, 2017.

BAMAL, D. *et al.* Biossíntese de nanopartículas de prata, caracterização, atividades antimicrobianas, aplicações, citotoxicidade e questões de segurança: Uma revisão atualizada. **Nanomateriais**, v. 11, n. 8, p. 2086, 2021.

BANERJEE, P. P. *et al.* Nanopartículas de prata verde mediadas por *Mentha arvensis* (Linn.) desencadeiam morte celular dependente de caspase 9 em células MCF7 e MDA-MB-231. **Câncer de mama: alvos e terapia**, p. 265-278, 2017.

BANKALGI, S. C. *et al.* Biossíntese, caracterização e efeito antibacteriano de nanopartículas de prata revestidas com fenólicos usando *Cassia javanica* L. **Journal of Cluster Science**, v. 27, p. 1485-1497, 2016.

BECKHOFF, B. K. *et al.* **Manual de análise prática de fluorescência de raios X**. Springer, Berlim, Heidelberg, 2006. ISBN 9783540286035.10.1007/978-3-540-36722-2.

BEHRAVAN, M. *et al.* Síntese verde fácil de nanopartículas de prata usando extrato aquoso de folhas e raízes de *Berberis vulgaris* e sua atividade antibacteriana. **Revista internacional de macromoléculas biológicas**, v. 124, p. 148-154, 2019.

BENEVIDES JÚNIOR, A. Y. *et al.* Prospecção Tecnológica do Cumaru (*Dipteryx odorata*). **Cadernos de Prospecção**, v. 13, n. 4, p. 1103-1103, 2020.

BFG. The Brazil Flora Group. 2021. **Coleção Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

BLUNDELL, R.; GIELETA, A. W. Fragrância deliciosa com propriedades contrastantes - Feijões de Tonka. The Malta Independent on Sunday. **Theor Chem Acc** **143**, 2024.

BOUAFIA, A. *et al.* O recente progresso em nanopartículas de prata: síntese e aplicações eletrônicas. **Nanomateriais**, v. 11, n. 9, p. 2318, 2021.

- BRASIL NETO, A. B. *et al.* A espécie comercial de árvore *Dipteryx odorata* melhora os atributos físicos e biológicos do solo em pastagens abandonadas. **Engenharia Ecológica**, v. 160, p. 1-5, 2021.
- CANESI, L.; CIACCI, C.; BALBI, T. Efeitos interativos de nanopartículas com outros contaminantes em organismos aquáticos: amigo ou inimigo? **Marine environmental research**, v. 111, p. 128-134, 2015.
- CARLOS, I. Z. *et al.* Ação do extrato metanólico e etanólico de *Davilla elliptica* St. Hill. (Malpighiaceae) na resposta imune. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, p. 44-50, 2005.
- CARVALHO, C. S.; LIMA, H. C.; CARDOSO, D. B. O. S. **Dipteryx in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB22952_consulta_publica_uc_citacao. Acesso em: 22 abr. de 2024.
- CARVALHO, P. E. R. **Cumaru-ferro *Dipteryx odorata***. Comunicado técnico Embrapa, n. 225, ISSN 1517-5030, 2009.
- CHANG, Chia-Chi *et al.* Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. **Journal of food and drug analysis**, v. 10, n. 3, 2002.
- CHAND, K. *et al.* Síntese verde, caracterização e aplicação fotocatalítica de nanopartículas de prata sintetizadas por vários extratos vegetais. **Jornal Árabe de Química**, v. 13, n. 11, p. 8248-8261, 2020.
- CHEN, H. *et al.* Fabricação assistida por polímero de matrizes de nanoanel de ouro. **Pesquisa em Nanotecnologia**, v. 10, p. 3346-3357, 2017.
- CHOI, J. S. *et al.* Toxicidade no desenvolvimento de nanopartículas de óxido de zinco para peixes-zebra (*Danio Rerio*): uma análise transcriptômica. **Plos one**, v. 11, n. 8, p. e0160763, 2016.
- CLSI. (Instituto de Padrões Clínicos e Laboratoriais) (2015). **Métodos para Testes de Suscetibilidade Antimicrobiana de Diluição para Bactérias que Crescem Aerobicamente**; Padrão Aprovado — Décima Edição. Documento CLSI M07-A10. Wayne, PA: Instituto de Padrões Clínicos e Laboratoriais; 2015.
- COCO, J. C. *et al.* Propriedades antioxidantes e cicatrizantes de feridas in vitro do extrato de noz de baru (*Dipteryx alata* Vog.) em células epiteliais pulmonares para aplicação terapêutica na doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). **Pesquisa de Produtos Naturais**, v. 36, n. 17, p. 4469-4475, 2022.
- COSTA, A. F. Farmacognosia. **Em Farmacognosia** v. II, 5. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1986.
- CRUZ, N. D.; GALLIO, E; GATTO, D. A. Síntese verde de nanopartículas de óxido de zinco. **Revista Matéria**, v. 25, n. 1, p. 1-7, 2020.

DAS, A. C. G. *et al.* Atividade antibacteriana de nanopartículas de prata (biossíntese): Uma breve revisão sobre avanços recentes. **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**. v. 27, p. 1-7, 2020.

DAS, G. e tal. Síntese otimizada fotomediada de nanopartículas de prata usando os extratos da fibra da casca externa do fruto *Cocos nucifera* L. e detecção de seu potencial antioxidante, citotóxico e antibacteriano. **Jornal Saudita de Ciências Biológicas**, v. 28, p. 1, 980-987, 2021.

EDISON, T. J. I.; SETHURAMAN, M. G. Síntese verde instantânea de nanopartículas de prata usando extrato de fruta *Terminalia chebula* e avaliação de sua atividade catalítica na redução de azul de metileno. **Bioquímica de Processo**, v. 47, n. 9, p. 1351-1357, 2012.

EL KHOURY, E.; *et al.* Síntese verde de nanopartícula conjugada com curcumina para aplicações em detecção de ácido nucleico e atividade antibacteriana. **Colóides e Superfícies B: Biointerfaces**, v. 127, p. 274-280, 2015.

ELIA, *et al.* Síntese verde de nanopartículas de ouro usando extratos vegetais como agentes redutores. **Jornal Internacional de Nanomedicina**. v. 9. p. 4007–4021, 2014.

EVANGELISTA, S. S.; SAMPAIO, F. C.; PARENTE, R. C.; BANDEIRA, M. F. C. L. Fitoterápicos na odontologia: estudo etnobotânico na cidade de Manaus. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.15, n.4, p.513-519, 2013.

FENFEN, L. Ü. *et al.* Papéis de biomoléculas na biossíntese de nanopartículas de prata: caso do extrato de *Gardenia jasminoides*. **Jornal Chinês de Engenharia Química**, v. 22, n. 6, p. 706-712, 2014.

FILIPE, D. *et al.* Síntese Verde Rápida Assistida pela Folha de Nanopartículas de Prata e Ouro. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**. v. 78, n. 2, p. 899–904, 2011.

FISSAN, H. *et al.* Comparação de diferentes métodos de caracterização para dispersões de nanopartículas antes e depois da aerossolização. **Métodos Analítico**. v. 18, n. 18, 7324–7334, 2014.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutrição**, v. 23, p. 269-279, 2010.

GALÚCIO, J. M.; *et al.* Síntese, caracterização, aplicações e toxicidade de nanopartículas verdes sintetizadas. **Biotecnologia Farmacêutica Atual**, v. 23, p. 420-443, 2022.

GENGAN, R. M. *et al.* Atividade da linhagem de células pulmonares A549 de nanopartículas de prata biossintetizadas usando folha de *Albizia adianthifolia*. **Colóides e superfícies B: Biointerfaces**, v. 105, p. 87-91, 2013.

GHAFFARI-MOGHADDAM M, *et al.* Síntese verde de nanopartículas de prata usando extratos vegetais. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 31, p. 548–557, 2014.

- GHOREISHI, S. M.; BEHPOUR, M.; KHAYATKASHANI, M. Síntese verde de nanopartículas de prata e ouro usando Rosa damascena e sua aplicação primária em eletroquímica. **Física E: Sistemas e Nanoestruturas de Baixa Dimensão**, v. 44, p. 97-104, 2011.
- GONZALEZ, SO; Acosta, EJ Simanek, EE Síntese, Caracterização e Aplicação de Dendrímeros Baseados em Melamina Suportados em Sílica Gel. **J. Polym. Sci. Parte A Polym. Chem.** v. 43, n. 1, p. 168–177, 2005.
- GUCHU, B. M. *et al.* Atividades antioxidantes in vitro de extratos metanólicos de *Caesalpinia volkensii* Harms., *Vernonia lasiopus* O. Hoffm., e *Acacia hockii* De Wild. **Medicina complementar e alternativa baseada em evidências: eCAM**, 2020:3586268, 2020.
- HANAOR, D. *et al.* Os efeitos dos ácidos carboxílicos na dispersão aquosa e deposição eletroforética de ZrO₂. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 32, n. 1, p. 235-244, 2012.
- HASSAN, A.; AKMAL, Z.; KHAN, N. A triagem fitoquímica e o potencial antioxidante de *Schoenoplectus triquetar* L. Palla. **Revista de Química**, 2020, n. 1, p. 3865139, 2020.
- HE, Y. Síntese verde de nanopartículas de prata usando extrato de semente de: *Alpinia katsumadai* e suas atividades antioxidantes, citotóxicas e antibacterianas. **RSC advances**, v. 7, n. 63, p. 39842-39851, 2017.
- HEMLATA, M. P. R. *et al.* Biossíntese de nanopartículas de prata usando extrato aquoso de folhas de *Cucumis Prophetarum* e sua atividade antibacteriana e antiproliferativa contra linhagens de células cancerígenas. **ACS Ômega**, v. 5, p. 5520–5528, 2020.
- HOSSEINI, R.; *et al.* Medindo a migração de prata de embalagens de polietileno nanocompósito de prata baseado em (TiO₂) para o *penaeus semisulcatus* usando comparação de titulação com métodos de migração. **Ciência Pesqueira**, v. 83, p. 649-659, 2017.
- HUSSAIN, I. *et al.* Síntese Verde de Nanopartículas e Sua Aplicação Potencial. **Biotechnology letters**, v. 38, p. 545-560, 2016.
- HUSSAIN, S. *et al.* Estresse oxidativo e efeitos pró-inflamatórios de nanopartículas de negro de fumo e dióxido de titânio: papel da área de superfície da partícula e quantidade internalizada. **Toxicologia**, v. 260, p. 142–149, 2009.
- IRAVANI, S. Green Síntese verde de nanopartículas metálicas usando plantas. **Química Verde**. v. 13, n. 10, p. 2638-2650, 2011.
- JANKOWSKY, L. *et al.* Uso de Resíduos Sólidos de Madeira como Matéria-Prima Potencial para Novos Medicamentos Herbais: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Multidisciplinares. **Aplicações Modernas em Farmácia e Farmacologia**. v. 1, n. 1, p. 1-5, 2017.
- JASUJA, N. D.; *et al.* Síntese verde de AgNPs estabilizados com resíduos biológicos e suas atividades antimicrobianas. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v. 45, p. 1325-1332, 2014.

JAWORSKA, A.; MALEK, K. Uma comparação entre o mecanismo de adsorção de antidepressivos tricíclicos em nanopartículas de prata e os modos de ligação nos receptores. Estudos de espectroscopia Raman de superfície aprimorada. **Jornal de Ciência de Colóides e Interfaces**, v. 431, p. 117-124, 2014.

JAYASEELAN, C. *et al.* Síntese verde de nanopartículas de ouro usando extrato aquoso de semente de *Abelmoschus Esculentus* e sua atividade antifúngica. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 423-429, 2013.

JOSHI, M.; BHATTACHARYYA, A.; ALI, S. W. Técnicas de caracterização para aplicações de nanotecnologia em têxteis. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, v. 33, p. 304-317, 2008.

KALIMUTHU, K. *et al.* Biossíntese de nanocristais de prata por *Bacillus licheniformis*. **Colóides e Superfícies B: Biointerfaces**, v. 65, n. 1, p. 150-153, 2008.

KAVIYA, S. *et al.* Biossíntese de nanopartículas de prata usando extrato de casca de *Citrus sinensis* e sua atividade antibacteriana. **Spectrochimica Acta Parte A: Espectroscopia Molecular e Biomolecular**, v. 79, p. 594-598, 2011.

KAWEETEERAWAT, C.; *et al.* Mecanismos de resistência a bactérias em bactérias mediadas por nanopartículas de prata. **Jornal de Toxicologia e Saúde Ambiental**, Parte A, v. 80, p. 1276-1289, 2017.

KHOSRAVI-KATULI, K.; *et al.* Efeitos de Nanopartículas em Espécies de Interesse Aquícola. **Ciências Ambientais**. Poluição. v. 24, p. 17326-17346, 2017.

KIM, Dah-Sol.; LIDA, F. Composição Nutricional do Feijão Tonka (*Dipteryx odorata*) e Sua Aplicação como Alimento Amigável ao Idoso com Agente Gelificante. **Géis**. v. 8, p. 1-15, 2022.

KORA, A. J.; SASHIDHAR, R. B.; ARUNACHALAM, J. Extrato Aquoso de Goma Olíbano (*Boswellia Serrata*): Um Redutor e Estabilizador para a Biossíntese de Nanopartículas de Prata Antibacterianas. **Processo Bioquímico**, v. 47, n. 10, p. 1516-1520, 2012.

KRISHNASWAMY, K.; ORSAT, V. Insights sobre as propriedades nanodielétricas de nanopartículas de ouro sintetizadas a partir de extratos de folhas de bordo e agulhas de pinheiro. **Culturas e Produtos Industriais**, v. 66, p. 131-136, 2015.

KUMAR, S. A.; *et al.* Síntese de nanopartículas de prata mediada por nitrato redutase a partir de AgNO. **Biotechnologia Letters**, v. 29, p. 439-445, 2007.

KUMAR, C. G.; MAMIDYALA, S. K. Síntese extracelular de nanopartículas de prata usando sobrenadante de cultura de *Pseudomonas aeruginosa*. **Colóides Superfícies B: Biointerfaces**, v. 84, n. 2, p. 462-466, 2011.

KUPPUSAMY, P. *et al.* Biossíntese de nanopartículas metálicas usando derivados de plantas e seus novos caminhos em aplicações farmacológicas – Um relatório atualizado. **Revista Farmacêutica Saudita**, v. 24, n. 4, p. 473-484, 2016.

LAMEIRA, M. K. da S. *et al.* Capacidade produtiva de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. Em um sistema de produção de pecuária integrada no Baixo Amazonas, Brasil. **Revista Florestal Mesoamericana Kurú**. v. 19, n. 44, p. 56-65, 2022.

LIMA, A. K. O.; *et al.* (2024). Fitossíntese de nanopartículas de prata utilizando extrato de folhas de guaraná (*Paullinia cupana Kunth*) empregando diferentes rotas: caracterização e investigação de bioatividades in vitro. Conversão de biomassa e biorrefinaria, **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-17, 2024.

LIN, P. C.; *et al.* Técnicas para caracterização físico-química de nanomateriais. **Avanços da biotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 711-726, 2014.

LIU, A.; *et al.* Protein Cages como recipientes para nanopartículas de ouro. **Jornal de Física e Química B**, v. 120, n. 26, p. 6352-6357, 2016.

LIU, T.; *et al.* Síntese verde de nanopartículas de prata com distribuição de tamanho dependendo de espécies redutoras em glicerol em pH e temperaturas ambientes. **ACS Ômega**, v. 5, n. 26, p. 16246-16254, 2020.

LIU, Y.; *et al.* Síntese verde de nanopartículas de ouro usando extrato de folhas de *Euphrasia Officinalis* para inibir a inflamação induzida por lipopolissacarídeos através das vias NF-KB e JAK/STAT em macrófagos RAW 264.7. **Jornal internacional de nanomedicina**, p. 2945-2959, 2019.

LOO, S. C. J. *et al.* Aplicações biomédicas de nanopartículas de hidroxapatita. *Farmácia Atual*. **Biotecnologia**. v. 11, n. 4, p. 333-342, 2010.

LOO, Y. Y. *et al.* Atividade antimicrobiana in vitro de nanopartículas de prata sintetizadas verdes contra patógenos gram-negativos transmitidos por alimentos selecionados. **Fronteiras em microbiologia**, v. 9, p. 1555, 2018.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia**. v. 2. Manaus: INPA, 1979. 187 p.

LOURO, H.; BORGES, T.; SILVA, M. J. Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública. **Revista Port. Saúde Pública**, v. 31, p. 145-157, 2013.

LUCCA, P. S. R. *et al.* Pesquisa fitoquímica dos princípios ativos presentes na droga vegetal *Solidago Microglossa*, DC (*Arnica Brasileira*). **Revista Thêma et Scientia**, v. 2, n. 2, 2012.

MAGRO, M. *et al.* Estratégias Baseadas em Nanotecnologia para Desenvolver Novas Terapias Anticâncer. **Biomoléculas**, v. 10, n. 5, p. 735, 2020.

MAHESH, K. V.; SINGH, S. K.; GULATI, M. Um estudo comparativo de abordagens de cima para baixo e de baixo para cima para a preparação de nanosuspensões de glipizida. **Powder technology**, v. 256, p. 436-449, 2014.

MANNA, A. *et al.* Síntese de nanopartículas de metais nobres passivadas por dendrímeros em um meio polar: comparação de tamanho entre partículas de prata e ouro. **Química Mater**. v. 13, n. 5, p. 1674-1681, 2001.

MARTÍNEZ-ZAPATA, D.; SANTAMARIA, R. O dano dos pares de bases Watson-Crick por nanopartículas de níquel: um estudo de dinâmica molecular de primeiros princípios. **Comput. Biologia Química**, v. 87, p. 107262, 2020.

MATOS, F. J. de A. Introdução à fitoquímica experimental, 3ª Edição. **UFC Edições, Fortaleza, Brasil**, 2009.

MCGILLICUDDY, E. *et al.* Nanopartículas de prata no ambiente: Fontes, detecção e ecotoxicologia. **Ciência do Ambiente Total**, v. 575, p. 231-246, 2017.

MEDEIROS, C. G de.; *et al.* Síntese verde de nanopartículas antioxidantes feitas com prata e polissacarídeos sulfatados da alga *Crassiphycus birdiae*. **Holos**, v. 5, p. 1-19, 2021.

MENDES, R. K.; *et al.* Determinação simultânea de diferentes compostos fenólicos utilizando biossensor eletroquímico e ocorrência multivariada. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, v. 29, n. 3, p. 482-489, 2018.

MENG, Y.; YAO, C.; XUE, S.; YANG, H. Aplicação da espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) na determinação de composições de microalgas. **Biorecursos e Tecnologia**, v. 151, p. 347-354, 2014.

MIRANDA, A. R.; CASTRO, C. F. S.; SILVÉRIO, M. D. O. Avaliação da atividade antioxidante e atividade da tirosinase do extrato das folhas do jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, p. 693-699, 2014.

MOHAMMADLOU, M.; MAGHSOUDI, H.; JAFARIZADEH-MALMIRI, H. Uma revisão sobre nanopartículas de prata verde baseada em plantas: visões, aplicações potenciais e abordagem ecológica. **Revista Internacional de Pesquisa Alimentar**. p. 446–463, 2016.

MOLNAR, Z. *et al.* Síntese Verde de Nanopartículas de Ouro por Fungos Filamentosos Termófilos. **Relatórios científicos**, v. 8, n. 1, p. 3943, 2018.

MONDAL, N. K. *et al.* Síntese verde de nanopartículas de prata e sua aplicação no controle de mosquitos. **Jornal Asiático-Pacífico de Doenças Tropicais**, v. 4, p. S204-S210, 2014.

MOREIRA, E. A. Marcha sistemática de análise em fitoquímica. **Tribuna farmacêutica**, v. 47, n. 1, p. 1-19, 1979.

NASCIMENTO, L. D. do *et al.* Compostos Naturais Bioativos e Atividade Antioxidante de Óleos Essenciais de Plantas de Especiarias: Novas Descobertas e Aplicações Potenciais. **Biomoléculas**, v. 10, n. 7, p. 988, 2020.

NASCIMENTO, L. D. *et al.* *Dipteryx odorata* Cumaru. **Plantas para o Futuro - Região Norte** (Embrapa), p. (615-627), 2022.

NASROLLAHZADEH, M.; *et al.* Síntese Verde Mediada por Plantas de Nanoestruturas: Mecanismos, Caracterização e Aplicações. **Em Ciência e Tecnologia de Interface**. Elsevier, 2019. p. 199-322.

NAZER, S. *et al.* A. Eficácia antibacteriana sinérgica de nanopartículas de prata sintetizadas biogênicas usando Ajuga Bractosa com antibióticos padrão: um estudo contra patógenos bacterianos. **Farmácia Atual de Biotecnologia**, v. 21, n. 3, p. 206-218, 2020.

NGUYEN, D. D.; LAI, J. Y. Síntese, propriedades bioativas e aplicações biomédicas de nanopartículas intrinsecamente terapêuticas para tratamento de doenças. **Jornal de Engenharia Química**, v. 435, p. 134970, 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, C. J. F.; CABREIRA, P. P. Sistemas agrofloretais: potencial econômico da biodiversidade vegetal a partir do conhecimento tradicional ou local. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, v. 7, n. 1, p. 212 – 224, 2012.

OMBREDANE, A. S. **Síntese verde de nanopartículas de prata a partir de extrato aquoso do tubérculo de Curcuma longa L. associadas à quitosana e avaliação da atividade antitumoral in vitro em câncer de pele não melanoma (linhagem A431)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 146f. 2016.

PANACEK, A. *et al.* Atividade Antifúngica de Nanopartículas de Prata contra Candida Spp. **Biomateriais**, v. 30, n. 31, p. 6333-6340, 2009.

PATIL, M. P. *et al.* Síntese verde mediada por extrato de folhas de Sasa borealis de nanopartículas de prata-cloreto de prata e suas atividades antibacterianas e anticâncer. **Novo Jornal de Química**, v. 41, n. 3, p. 1363-1371, 2017.

PAUMGARTTEN, M. N. V. *et al.* Avaliação do Efeito Plastificante e Antioxidante de Filmes de Acetato de Celulose Incorporados com Óleo Vegetal de Cumaru Dipteryx Odorata. In: Pires, Christiano Vieira (org.). **Ensino, Pesquisa e Extensão em Engenharia de Alimentos**. Recife: 1ª ed., v. 2, p. 151-165, 2021.

PEREIRA, N. C. *et al.* **Caracterização das Propriedades Físicas de Três Espécies Comercializadas em Serrarias no Moju-PA**. In: Fórum de Anatomistas de Madeira da Amazônia, 1., 2017. Anais eletrônicos... Belém: Embrapa Serviços em Tecnologia Ltda, 2017, p. 1-6.

PESCE, C. Oleaginosas da Amazônia. 2. ed., rev. e atual. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, **Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural**, 2009. 334p.: il. 1. Ed. em 1941.

PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre. 2007.
PHILIP, D. Green Síntese de nanopartículas de ouro e prata usando Hibiscus Rosa Sinensis. **Phys. Sistemas de baixa dimensão Nanoestruturas**, 2010, v. 42, n. 5, 1417–1424.

PIRZ, W. D.; BUTTREY, D. J. Determinação do tamanho de partículas usando TEM: uma discussão sobre aquisição e análise de imagens para o microscopista iniciante. **Langmuir**, v. 24, p. 11350–11360, 2008.

PRANCE, G. T.; SILVA, M. F. **Árvores de Manaus**. Manaus: INPA, 1975. 312 p.

PRIYA, D. D. *et al.* Fitossíntese de nanopartículas de CuO e sua aplicação catalítica na formação de ligações CS. **Materials Letters**, v. 266, p. 127486, 2020.

QAMER, S. *et al.* Revisão Sistemática sobre Biossíntese de Nanopartículas de Prata e Atividades Antibacterianas: Aplicação e Perspectivas Teóricas. **Moléculas**. v. 26, n. 16, p. 1-21, 2021.

RAI, M.; *et al.* Nanopartículas de prata: uma poderosa nanoarma contra bactérias multirresistentes. **Jornal de Microbiologia Aplicada**, v. 112, n. 5, p. 841-852, 2012.

RANA, A.; YADAV, K.; JAGADEVAN, S. Uma revisão abrangente sobre a síntese verde de nanopartículas metálicas inspirada na natureza: mecanismo, aplicação e toxicidade. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 122880, 2020.

RASHEED, T. *et al.* Biossíntese verde de nanopartículas de prata usando extrato de folhas de *Artemisia vulgaris* e suas aplicações biomédicas potenciais. **Colóides Superfícies B Biointerfaces**. v. 158, p. 408–415, 2017.

REHANA, D.; *et al.* Avaliação da atividade antioxidante e anticâncer de nanopartículas de óxido de cobre sintetizadas usando extratos vegetais de importância medicinal. **Biomédica Farmacêutica**, v. 89, p. 1067–1077, 2017.

REVERBERI, A. P. *et al.* Novas Tendências na Síntese de Nanopartículas por Métodos Verdes. **Transações de Engenharia Química**, v. 61, p. 667-672, 2017.

RIOS, M. N. D. S.; PASTORE JÚNIOR, F. **Plantas da Amazônia: 450 espécies de uso geral**. 2011.

ROSSI, L. M. *et al.* O papel e o destino dos ligantes de cobertura em superfícies de nanopartículas metálicas preparadas coloidalmente. **Dalton Transactions** v. 47, n.17, pp 5889–5915, 2018.

ROY, S.; DAS, T. Síntese verde mediada por plantas de nanopartículas de prata - Uma revisão. **Internacional J. Biologia Vegetal**. v.3, p1044–1055, 2015.

RUFINO, M. D. S. M. *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Comunicado técnico. Embrapa, p.4. 2006.

SALÃO, B. D.; ZANCHET, D.; UGARTE, D. Estimativa do tamanho de nanopartículas a partir da profundidade de difração. **Journal of Applied Crystallography**. v.33, n. 6, p 1335–1341, 2000.

SALGUEIRO, F. B. *et al.* Composição fenólica e propriedades antioxidantes do mel brasileiro. **Química Nova**, v. 37, p. 821-826, 2014.

SANTOS, A. C. A. dos. *et al.* Avaliação química mensal de três exemplares de *Schinus terebinthifolius* Raddi. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 52, p. 1011-1013, 2007.

- SANTOS, L. D. O. dos. *et al.* Avaliação da atividade antioxidante dos compostos fenólicos presentes na amburana cearensis. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, p. 44-49, 2016.
- SANTOS, N. M. *et al.* Síntese verde de nanopartículas de ouro coloidal usando látex de Hevea Brasiliensis e avaliação de sua citotoxicidade e genotoxicidade in vitro. **IET Nanobiotecnologia**, v. 13, n. 3, p. 307-315, 2019.
- SANTOS, O. V. dos *et al.* Perfil cromatográfico e compostos bioativos presentes na composição do óleo de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth): implicações para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, v. 33, 2020.
- SAPSFORD, K. E. *et al.* Análise de bioconjugados de nanomateriais: uma revisão de técnicas atuais e emergentes de purificação e caracterização. **Química Analítica**, v. 83, n. 12, p. 4453-4488, 2011.
- SARKAR, M. K. *et al.* Atividade antiproliferativa potencial de AgNPs sintetizados usando *M. longifolia* na linhagem celular 4T1 através da geração de ROS e danos à membrana celular. **Jornal de Fotoquímica e Fotobiologia B: Biologia**, v. 186, p. 160-168, 2018.
- SCAPIN, E. *et al.* Análise fitoquímica, toxicidade e avaliação das atividades antioxidante e antimicrobiana de folhas de *Dipteryx alata* Vogel. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e278004, 2024.
- SCROCCARELLO, A. *et al.* Efeito de AgNPs encapsulados em compostos fenólicos na inibição do crescimento de *Aspergillus niger*. **Colóides e Superfícies B: Biointerfaces**, v. 199, 2021.
- SENA, A. E. C. *et al.* Síntese, caracterização e análise antimicrobiana de nanopartículas de prata obtidas através da rota verde com extratos vegetais e síntese inorgânica. **Interfaces Científicas**, v. 9, n. 1 p. 319-332, 2022.
- SHABESTARIAN, H. *et al.* Green Síntese de nanopartículas de ouro usando extrato aquoso de sumagre e sua atividade antioxidante. **Matéria**, v.20, n.1, p. 264–270, 2017.
- SHANG, L.; *et al.* Alterações conformacionais de proteínas dependentes de pH em bioconjugados de nanopartículas de albumina:ouro: um estudo espectroscópico. **Langmuir**, v.23, n.5, p. 2714–2721, 2007.
- SILVA, E. A. L. da; SILVA, G. G. C. **Caracterização fitoquímica das folhas e sementes de *Dipeterix odorata* (Aubl) Wild.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Química, Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, Marabá, 52f. 2017.
- SILVA, G. M. da. *et al.* Estudo Químico e Antimicrobiano dos Extratos de Sementes e Folhas do Cumaru, *Dipteryx odorata* (Fabaceae). **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 1, p. 34-38, 2021.

SIM, J. *et al.* Fabricação de nanoestruturas metálicas com comprimento e padrões programáveis usando uma plataforma modular de DNA. **Nano Lett**, v.19, n.4, p. 2707–2714, 2019.

SINGH, P. K.; KUNDU, S. Biossíntese de nanopartículas de ouro utilizando bactérias. **Anais da Academia Nacional de Ciências da Índia, Seção B: Ciências Biológicas**, v. 84, p. 331-336, 2014.

SINGH, P. K.; *et al.* Amostragem de tamanho assistida por UV e triagem antibacteriana de nanopartículas de prata sintetizadas com extrato de folha de Lantana camara. **RSC avanço**, v. 5, p.24513-24520, 2015.

SLOCIK, J. M. *et al.* Modelos virais para síntese de nanopartículas de ouro. **Química**, v.15, n. 7, p. 749–753. 2005.

SOARES, A. **Comparação Anatômica e Descrição da Densidade e Macroscopicidade da espécie *Dipteryx Odorata* (Aubl.) Willd (Cumaru)**. In: II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera & II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera em la Construcción, 2., 2017. Anais eletrônicos... Buenos Aires: Universidad Nacional Noroeste Buenos Aires; Organización Sudamericana para la Construcción em Madera, 2017, p. 1-7.

SOUSA, C. M. D. M. *et al.* (2007). Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química nova**, 30:351-355. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200021>

SOUSA, B.C.M. ***Dipteryx odorata* (Aubl.) willd. e *Dipteryx magnifica* (Ducke) ducke (Fabaceae): caracterização fitoquímica quanto à presença de cumarina e atividades antifúngica e antibacteriana**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia) - Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 92f. 2017.

SOUSA, B. C. M. de *et al.* Análise Fitoquímica e Atividade Antioxidante de Extratos Etanólicos de Diferentes Partes de *Dipteryx punctata* (SF Blake) Amshoff. **Ciências Aplicadas**, v. 13, n. 17, p. 9600, 2023.

SOUZA, V. de C.; LORENZI, Harri. Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil. **Nova Odessa: Instituto Plantarum**, p. 420, 2012.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. (2019). **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG IV**. Nova Odessa: Jardim Botânico Plantarum, 2019.

SOUZA, O. de *et al.* Impacto Ambiental de Nanopartículas Biogênicas de Prata em Solo e Organismos Aquáticos. **Quimosfera**, v. 239, 2022.

SUDHA, A.; SRINIVASAN, P. Síntese verde de nanopartículas de prata usando extrato aéreo de *Lippia Nodiflora* e avaliação de seus efeitos antioxidantes, antibacterianos e citotóxicos. **Recurso Tecnológico**. v. 3, n. 4., p. 506–515, 2017.

SUKUMAR, S.; RUDRASENAN, A.; PADMANABHAN NAMBIAR, D. Nanopartículas de óxido de cobre em forma de arroz sintetizadas em verde usando extrato de semente de *Caesalpinia Bonducella* e suas aplicações. **ACS omega**, v. 5, n. 2, p. 1040-1051, 2020.

SWATHI, N. *et al.* Síntese verde de nanopartículas de dióxido de titânio usando fístula de cássia e sua atividade antibacteriana. **Ciência Farmacêutica**, v.10, n. 2, p. 856–860, 2019.

TAGHAVIZADEH YAZDI, M. E. *et al.* Fitossíntese de nanopartículas de prata usando extrato aéreo de *Salvia Leriifolia Benth* e avaliação de suas propriedades antibacterianas e fotocatalíticas. **Química Intermediária**, v.45, n. 3, p. 1105–1116, 2019.

TEIXEIRA, V. *et al.* Aqueous Extract of *Cumaru (Dipteryx odorata)* Seeds as Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 32, n. 02, p. 413-428, 2021.

TORTELLA, G. R. *et al.* Nanopartículas de prata: Toxicidade em organismos modelo como uma visão geral de seu risco para a saúde humana e o meio ambiente. **Jornal de materiais perigosos**, v. 390, p. 121974, 2020.

TRIPATHI, S. *et al.* Nano-Bioremediação: Nanotecnologia e Biorremediação. Em *Tecnologias de remediação por bioestimulação para contaminantes de águas subterrâneas*. **IGI Global**, p. 202–219, 2022.

UTHAMAN, S. *et al.* Green Síntese de nanopartículas de ouro com cobertura de polissacarídeo bioativo para imagens de tomografia computadorizada de linfonodos. **Carboidrato Polímero**, v.181, p.27–33, 2018.

VANLALVENI, C.; *et al.* Síntese verde de nanopartículas de prata usando *Nostoc linckia* e sua atividade antimicrobiana: uma nova abordagem biológica. **Bionanociência**, v. 8, p. 624-631, 2018.

VEERAMANI, S. *et al.* Nanopartículas de prata — Síntese verde com extrato aq. de caules de *Ipomoea Pes-Caprae*, caracterização, potencial antimicrobiano e anticâncer. **International Journal of Medical Nano Research**, v. 5, n. 024, p. 10.23937, 2018.

VIANA, A. V. *et al.* Síntese verde e caracterização de nanopartículas de prata em curcumina e extrato de cajueiro (*Anacardium occidentale*). **Research, Society and Development**. v. 10, n. 6, p. 1-8, 2021.

WANG, W. *et al.* Síntese em uma etapa de nanopartículas de nossos biocompatíveis usando ácido gálico na presença de poli-(N-vinil-2-pirrolidona). **Colóides e superfícies A: Aspectos físico-químicos e de engenharia**, v. 301, n. 3, p. 73-79, 2007.

WEI, G.; *et al.* Síntese em uma etapa de nanopartículas de prata, nanoródios e nanofios na superfície da rede de DNA. **Journal of Physical Chemistry B**, v. 109, n. 18, p. 8738-8743, 2005.

YIN, I. X.; *et al.* O mecanismo antibacteriano das nanopartículas de prata e sua aplicação na odontologia. **Jornal Internacional de Nanomedicina**, p. 2555-2562, 2020.

ZHANG, H. *et al.* Comparação da fitotoxicidade entre nanopartículas de prata sintetizadas quimicamente e verdes. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 752, p. 142264, 2021.

ZHANG, N. A. *et al.* Nanopartículas de prata: da síntese verde in vitro aos efeitos biológicos in vivo em plantas. **Agroquímica Avançada**, v. 2, p. 313-323, 2023.

ZHANG, W. *Et al.* Reação dentro de uma nanocage de proteína viral: mineralização em uma semente de nanopartícula após encapsulamento via automontagem. **Nano Research**. v. 10, p. 3285-3294, 2017.