

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA TECNOLOGIA PARA RECURSOS
AMAZÔNICOS

MATHEUS TRINDADE DE OLIVEIRA

Síntese verde de nanopartículas de prata e estudo do óleo do bicho-do-tucumã: potencial terapêutico in vitro e composição química.

ITACOATIARA-AM

2026

MATHEUS TRINDADE DE OLIVEIRA

Síntese verde de nanopartículas de prata e estudo do óleo do bicho-do-tucumã: potencial terapêutico in vitro e composição química

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA) como pré-requisito para obtenção da titulação de Mestre em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos.

Orientadora: Profa. Dra. Dominique Fernandes de Moura do Carmo

Coorientador: Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia

ITACOATIARA-AM

2026

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- O48s Oliveira, Matheus Trindade de
 Síntese verde de nanopartículas de prata e estudo do óleo do
 bicho-do-tucumã potencial terapêutico in vitro e composição
 química / Matheus Trindade de Oliveira. - 2026.
 59 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Dominique Fernandes de Moura do Carmo.
 Coorientador(a): Paulo José de Sousa Maia.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
 Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para
 Recursos Amazônicos, Itacoatiara, 2026.
1. Síntese Verde. 2. Nanotecnologia. 3. Ensaio biológico. 4.
 Astrocaryum vulgare. I. Carmo, Dominique Fernandes de Moura do.
 II. Maia, Paulo José de Sousa. III. Universidade Federal do
 Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
 para Recursos Amazônicos. IV. Título
-

MATHEUS TRINDADE DE OLIVEIRA

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA E ESTUDO DO ÓLEO DO
BICHO-DO-TUCUMÃ POTENCIAL TERAPÊUTICO IN VITRO E COMPOSIÇÃO
QUÍMICA

Dissertação apresentada ao Programa de
PósGraduação em Ciência e Tecnologia para
Recursos Amazônicos da Universidade Federal
do Amazonas, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Ciência e
Tecnologia para Recursos Amazônicos.

Aprovado em: 29/05/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 DOMINIQUE FERNANDES DE MOURA DO CARMO
Data: 30/06/2026 11:32:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Dominique Fernandes de Moura do Carmo
Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 MAIARA DE SOUZA NUNES ÁVILA
Data: 29/06/2026 18:05:58-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Maiara de Souza Nunes Ávila
Membro Titular
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente
 VICTOR CELSO CAVALCANTI CAPIBARIBE
Data: 30/06/2026 22:28:39-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Victor Celso Cavalcanti
Capibaribe
Membro Titular
Universidade Federal do Amazonas

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus, pois toda a honra e toda a glória pertencem a Ele. Sou grato pela vida e por todas as bênçãos alcançadas, pois, sem Sua bondade e misericórdia, nada seria possível.

Agradeço imensamente aos meus pais, Dilermando Tadeu Craveiro de Oliveira e Maria das Graças Trindade de Oliveira, que, com muito esforço, dedicação e empenho, me proporcionaram a possibilidade de estudar em boas escolas e me deram suporte financeiro, emocional e espiritual durante minha infância, juventude e vida adulta. Meus mais sinceros agradecimentos.

À minha esposa, Jhully Gleyce Otaviano de Oliveira, pelo apoio incondicional. Mesmo com minha ausência em alguns momentos, devido ao tempo dedicado ao mestrado, em nenhum instante foi incompreensiva, estando sempre disposta a ajudar no que fosse necessário.

À minha orientadora, Profa. Dra. Dominique de Moura do Carmo, que, sempre com paciência e dedicação, me guiou por essa jornada que parecia impossível no início, mas que, com o tempo, foi se concretizando graças aos seus ensinamentos e palavras de apoio. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Paulo José de Sousa Maia, que compartilhou seu conhecimento e possibilitou a realização do mestrado, além do grande apoio e incentivo ao longo desses dois anos. À Profa. Dra. Maiara, que foi colaboradora crucial em algumas etapas do projeto.

Aos amigos(as) conquistados nesse período, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta, com ênfase para Ívina Thayná Miranda Trindade, que me acolheu no estágio em docência, além das colaborações nos ensaios antioxidantes e em diversas outras práticas laboratoriais. Agradeço ao Joel dos Santos pelo apoio e paciência durante a síntese das nanopartículas, etapa crucial para a conclusão deste projeto. Sou grato também à parceria de Sulcimilena Mady Flores, que esteve sempre disposta a ajudar, seja com materiais, seja com sua experiência em práticas laboratoriais. Ao parceiro Victor Hugo, que em diversas ocasiões foi fundamental em diferentes etapas, e aos colegas da turma de mestrado 2024, que contribuíram direta ou indiretamente nesse processo.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela possibilidade de estudo. Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos (PPGCTRA), pela oportunidade de crescimento profissional. Também agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual seria impossível concluir este trabalho.

Resumo

Dentro do estudo dos nanomateriais, as nanopartículas (partículas com dimensões com cerca de 100 nm), vêm ganhando destaque devido a diversas aplicações na área tecnológica, biomédica, como controle biológico e aplicações elétricas. Contudo, sua síntese convencional envolve reagentes agressivos ao meio ambiente, limitando suas aplicações. Nesse cenário, a síntese verde surge como alternativa promissora, pois, a região norte possui uma grande riqueza de recursos subaproveitados, como é o caso do tucumã do Pará e o óleo do bicho-do-tucumã possibilitando aplicações que dialogam a nanociência com a medicina tradicional. O trabalho buscou sintetizar nanopartículas de prata (AgNPs) mediadas pelo extrato aquoso do tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e avaliar o potencial terapêutico, in vitro, dessas nanopartículas, do extrato aquoso do tucumã (EAT) e do óleo do bicho-do-tucumã (OBT). Para isso, foram conduzidos ensaios antioxidantes (DPPH•, ABTS+•, FRAP e fenólicos totais), antimicrobianos e alelopáticos. A caracterização do OBT foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, identificando como componentes majoritários ácidos graxos, além de monoterpenos oxigenados e sesquiterpenos hidrocarbonetos. Para atividade antioxidantes, resultados apresentaram atividade significativa para o OBT, baixa para o AgNPs e discreta para as EAT. Não foi observada atividade antimicrobiana para nenhuma das amostras. Nos ensaios alelopáticos, não se verificou efeito inibitório, sendo identificado em alguns casos efeito estimulante no desenvolvimento das sementes quando comparados ao tratamento testemunha (utilizando água). Os resultados apontam maior potencial terapêutico para o óleo do bicho-do-tucumã frente aos ensaios realizados.

Palavras-chave: Nanotecnologia; *Astrocaryum vulgare* Mart.; Atividades biológicas.

Abstract

Within the field of nanomaterials, nanoparticles (particles with dimensions of approximately 100 nm) have gained prominence due to their diverse applications in technology, biomedicine, biological control, and electrical devices. However, their conventional synthesis involves environmentally harmful reagents, limiting their applicability. In this context, green synthesis has emerged as a promising alternative, particularly in the Northern region of Brazil, which possesses a rich diversity of underutilized resources, such as Pará tucumã and tucumã weevil oil, enabling applications that connect nanoscience with traditional medicine. This study aimed to synthesize silver nanoparticles (AgNPs) mediated by the aqueous extract of Pará tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) and to evaluate, *in vitro*, the therapeutic potential of these nanoparticles, the aqueous tucumã extract (ATE), and tucumã weevil oil (TWO). To achieve this, antioxidant assays (DPPH•, ABTS+•, FRAP, and total phenolic content), antimicrobial tests, and allelopathic assays were conducted. The characterization of TWO was performed using gas chromatography coupled with mass spectrometry, identifying fatty acids as the major components, along with oxygenated monoterpenes and hydrocarbon sesquiterpenes. Regarding antioxidant activity, the results demonstrated significant activity for TWO, low activity for AgNPs, and modest activity for ATE. No antimicrobial activity was observed for any of the samples. In the allelopathic assays, no inhibitory effect was detected; in some cases, a stimulatory effect on seed development was observed when compared to the control treatment (water). The results indicate that tucumã weevil oil exhibited the greatest therapeutic potential among the tested samples under the conditions evaluated.

Keywords: Nanotechnology; *Astrocaryum vulgare* Mart.; Biological activities.

Lista de figuras

Figura 1 - Diferença de coloração das nanopartículas de prata.....	10
Figura 2 – Métodos de síntese de nanopartículas.....	12
Figura 3 – Alguns métodos de fabricação importantes usados na síntese de nanopartículas.....	12
Figura 4 – Espécie <i>Astrocaryum vulgare</i> . (A) Distribuição. (B) Exemplar adulto. (C)	17
Figura 5 - Estágios de desenvolvimento de <i>S. ruficornis</i>	19
Figura 6 - Processo de preparo do extrato aquoso.....	23
Figura 7 - Processo de síntese de nanopartículas de prata	24
Figura 8 -Componentes majoritários após derivatização do OBT.....	29
Figura 9 -Transição da cor da solução durante a síntese das nanopartículas.....	30
Figura 10 - Espectro eletrônico de AgNPs em função do tempo. pH 9,0; T: 70 °C e concentração de extrato 1,0%.....	31
Figura 11 - Espectro eletrônico em função do tempo pH 9; T: 30° e 50° e concentração do extrato 1 %.....	33
Figura 12 - Sugestão do caminho reacional da síntese da nanopartícula de prata	33
Figura 13 - Diferença de coloração para tentativas de síntese ineficazes.....	34
Figura 14 - Espectro eletrônico em função do tempo para pH 7, Temp.: 40° (a) e pH 8 Temp.: 50°, respectivamente, e concentração do extrato 1%.....	35
Figura 15 - Espectro eletrônico em função do tempo do extrato aquoso de tucumã.....	35
Figura 16 Curva padrão de Trolox. (A) método DPPH•. (B) método ABTS+•.....	37
Figura 17 - Curva padrão de sulfato ferroso (método FRAP.....	38
Figura 18 - Curva Padrão de Ácido Gálico.....	39
Figura 19 - Ensaio de difusão em ágar com <i>Staphylococcus aureus</i>	41
Figura 20 - Índices alelopático para % de germinação, TMG, VG e IVG.....	44
Figura 21 – Plântulas não desenvolvidas.....	45

Lista de tabelas

Tabela 1 - Principais aplicações do óleo do bicho na região marajoara.....	20
Tabela 2 - Substâncias presentes no óleo de bicho-do-tucumã (OBT).....	28
Tabela 3 - Resultados do ensaio antioxidante.....	36
Tabela 4 - Resultados ensaio alelopático.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1. Nanotecnologia, nanociência e nanopartícula	10
2.2 Rotas de obtenção das nanopartículas	11
2.3. Família Arecaceae	14
2.4. Gênero <i>Astrocaryum</i>	15
2.5. <i>Astrocaryum vulgare</i> Mart.	16
2.6. Óleo do bicho-do-tucumã	18
3. OBJETIVOS	21
3.1. Objetivo Geral	21
3.2. Objetivos específicos	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1. Óleo do bicho-do-tucumã	22
4.1.1. Obtenção do óleo	22
4.1.2. Derivatização de triglicerídeos em ésteres metílicos	22
4.1.3. Análise por Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM)	22
4.2. Extrato da polpa do tucumã	23
4.2.1. Obtenção do fruto de <i>Astrocaryum vulgare</i>	23
4.2.2. Preparação do extrato vegetal	23
4.2.3. Síntese da nanopartícula de prata	24
4.3. Ensaio antioxidante	25
4.3.1 Quantificação de Compostos Fenólicos Totais (FT)	25
4.3.2. Avaliação da Atividade Antioxidante frente aos radicais DPPH•, ABTS+• e FRAP.	25
4.4. Ensaio antimicrobiano	26
4.5. Bioensaio de alelopatia	27
4.5.1 Análise Estatística	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1. Caracterização química do óleo do bicho-do-tucumã	28
5.2. Constituintes Químicos do extrato aquoso (EAT)	29
5.3. Síntese de Nanopartícula de Prata	30
5.4. Resultados de ensaios antioxidantes	36
5.5. Atividade antimicrobiana	40
5.6. Efeito alelopático	42
5.6.1 Germinação e velocidade	43
5.6.2 Crescimento inicial das plântulas	45

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
7. REFERÊNCIA.....	48

1. INTRODUÇÃO

O avanço da nanotecnologia e da nanociência tem proporcionado significativos progressos em diferentes áreas do conhecimento, uma vez que a manipulação de materiais em escala nanométrica (1 a 100 nm) resulta em propriedades físico-químicas e biológicas singulares. As nanopartículas (NPs) constituem um dos principais focos da nanotecnologia, visto que a redução do tamanho das partículas confere alterações em sua reatividade, atividade catalítica, comportamento eletrônico e óptico, estabelecendo novas perspectivas para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras (Ferreira e Rangel, 2009; Saha, 2023).

Dentre os diferentes tipos de nanomateriais, as nanopartículas metálicas, em especial as nanopartículas de prata (AgNPs), apresentam amplo potencial de aplicação devido à sua elevada eficiência antimicrobiana contra bactérias, vírus e fungos, além de propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e cicatrizantes (Sabzevar, 2024; Cooke, 2014). Historicamente, compostos de prata já eram empregados como agentes terapêuticos desde a antiguidade, sendo utilizados, por exemplo, no tratamento de queimaduras e infecções bacterianas. Com o advento dos antibióticos, seu uso reduziu, porém, diante do crescente aumento da resistência bacteriana, o interesse científico pelas AgNPs foi retomado (Chopra, 2007; Antunes, 2013).

As metodologias convencionais de síntese de nanopartículas, entretanto, envolvem o uso de reagentes químicos tóxicos e processos de alto custo, limitando sua aplicação em setores sensíveis como a indústria farmacêutica e biomédica (Norizi, 2014; Albernaz, 2014). Nesse contexto, surge a síntese verde como alternativa sustentável, baseada na utilização de organismos biológicos, especialmente extratos vegetais, capazes de reduzir e estabilizar íons metálicos, promovendo a formação de nanopartículas de forma ecologicamente viável, economicamente acessível e com maior biocompatibilidade (Iravani, 2011; Medeiros, 2021).

O uso de extratos vegetais na biossíntese de nanopartículas é particularmente interessante devido à presença de metabólitos secundários, como polifenóis, flavonoides, alcaloides, aminoácidos e vitaminas, que atuam tanto como agentes redutores quanto estabilizantes, garantindo maior estabilidade e funcionalidade às NPs produzidas (Akhtar *et al.*, 2013; Naikoo, 2021). Além disso, tais compostos

bioativos, conhecidos como aleloquímicos, também estão associados a atividades alelopáticas, podendo interferir no crescimento e desenvolvimento de outras plantas e microrganismos (Cheng & Cheng, 2015; Elsharkawy, 2019).

Nesse cenário, o tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.), uma palmeira nativa da Amazônia, apresenta-se como uma fonte promissora de compostos bioativos. Tradicionalmente utilizado pelas comunidades locais para fins alimentícios, medicinais e artesanais, o tucumã possui potencial ainda pouco explorado pela ciência moderna, especialmente em aplicações biotecnológicas (Lima, 2014; Silva, 2019). Além de seus frutos, produtos derivados, como o óleo do “bicho-do-tucumã”, também são empregados na medicina tradicional, destacando-se pelos efeitos anti-inflamatórios e cicatrizantes (Pereira, 2012; Rocha, 2014).

Para a população local da região do Marajó, esse óleo, também conhecido como óleo do bicho, pode ser empregado no tratamento de diversas enfermidades como doenças infecciosas (garganta inflamada) e parasitárias, doenças de pele e do tecido subcutâneo (cicatrização de feridas), transtornos do sistema nervoso (dor de cabeça ou fraqueza no cérebro), entre outras (Rocha, 2014). O óleo também pode ser manipulado puro (86%) ou associado (14%) com outras espécies, como a arruda (*Ruta graveolens* L.), o pirarucu (*Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers.) e o desinflama (*Kalanchoe* sp. Adans.).

Dessa forma, a investigação da síntese verde de nanopartículas de prata mediada pelo extrato aquoso de *Astrocaryum vulgare* representa uma abordagem inovadora e sustentável, integrando conhecimentos de nanotecnologia, fitoquímica e biotecnologia. Paralelamente, o estudo das propriedades terapêuticas como atividade antioxidante, antimicrobiana e alelopática das AgNPs, extrato aquoso do tucumã e óleo do bicho-do-tucumã podem fornecer subsídios relevantes para o desenvolvimento de novas aplicações biomédicas e farmacológicas, valorizando os recursos oferecidos pela região amazônica que ainda são subaproveitados além de poder ser usado como referência para estudos posterior.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nanotecnologia, nanociência e nanopartícula

Atualmente, o termo nanotecnologia se refere a definição do cientista, engenheiro e nanotecnólogo norte americano Kim Eric Drexler, sendo conceituada como o conjunto de diversas metodologias que envolvem a manipulação átomo a átomo. Já o termo nanociência é definido como o estudo e manipulação de sistemas físicos que produzem diferenças significativas em escala nanométrica, compreendida entre 1 a 100 nm (Ferreira e Rangel, 2009). Então, as nanopartículas (NPs) constituem uma vertente da nanotecnologia, na qual com a redução das dimensões das partículas obtém-se alterações em propriedades físicas, químicas e biológicas (Sazevar, 2024).

Essas alterações já foram observadas desde o século XIX por Michael Faraday, onde ele constatou que o tamanho da partícula influencia na absorção da luz. Foi observado que é possível obter materiais baseados em ouro com diferentes cores, e essa alteração depende do tamanho da partícula, que exibe uma cor amarela naturalmente, porém pode apresentar cor negra, rubi ou arroxeadada (Ferreira e Rangel, 2009).

Atualmente existem diversas técnicas analíticas para detectar as NPs dentre elas a absorbância, a fluorescência, a eletroquímica, espectroscopia Raman, espectrometria de massa, entre outros. Para análise por espectrofotometria em UV-VIS, em particular as nanopartículas de prata (AgNP), apresentam pico de absorbância de radiação eletromagnética observadas em comprimentos de onda entre 400-500 nm, podendo ser observado visualmente sua obtenção pela variação de coloração para marrom avermelhado até marrom escuro (Figura 1) dependendo do tamanho das NPs produzidas e da composição do meio em que elas se encontram. (Albernaz, 2014).

Figura 1 - Diferença de coloração das nanopartículas de prata



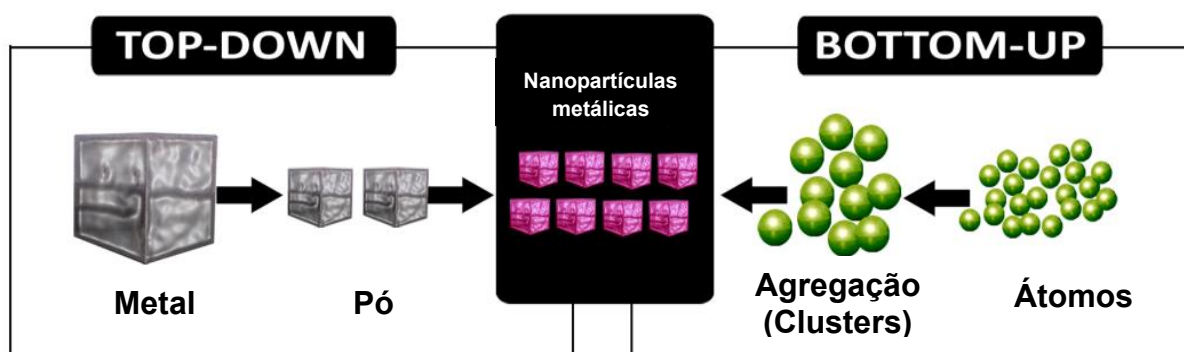
Fonte: Melo (2015)

O estudo das nanopartículas representa uma área de grande interesse por parte da comunidade científica, de modo que as nanopartículas de metais nobres, como ouro e prata, possibilitam o estudo das propriedades dos nanomateriais (Brito, 2021; Saha, 2024). Além do tamanho nanométrico, que torna as partículas mais reativas devido ao aumento de sua área de superfície, pode surgir também comportamentos diferenciados e únicos, proporcionando o desenvolvimento de tecnologias inovadoras (Albernaz, 2014; Sazevar, 2024).

As nanopartículas de prata apresentam-se como a mais viável devido ao seu baixo custo e da facilidade de manipulação em laboratórios de química (Cooke, 2014; Keat, 2015). As AgNp são obtidas a partir de reações químicas controladas, essas reações envolvem a redução de íons de prata em solução aquosa proporcionando a formação de agregados em escala nanométrica (Melo & Pimenta, 2004, p. 14). Atualmente as nanopartículas de prata são aquelas que apresentam maior eficiência como agente antimicrobiano incluindo vírus, bactérias e fungos (Sabzevar, 2024).

2.2 Rotas de obtenção das nanopartículas

Existem dois principais métodos para obtenção das nanopartículas: seguindo uma abordagem *bottom-up* ou *top-down* (Ferreira e Rangel, 2009; Albernaz, 2014). A técnica Top-down, de natureza física, consiste em causar uma ruptura de um material em escala maior até atingir escala de nanomateriais, no entanto, esse método pode apresentar defeitos em sua estrutura, pois é necessário aplicar uma tensão mecânica nos átomos para produzir as nanopartículas. A técnica *bottom-up*, de caráter químico, consiste na agregação das partículas metálicas da escala atômica/iônica até atingir a escala nanométrica. Esse método é muito interessante pois possibilita a formação de partículas mais uniformes, homogêneas e ser de fácil controle (Pires, 2013). A Figura 2 apresenta o diagrama representativo das duas abordagens.

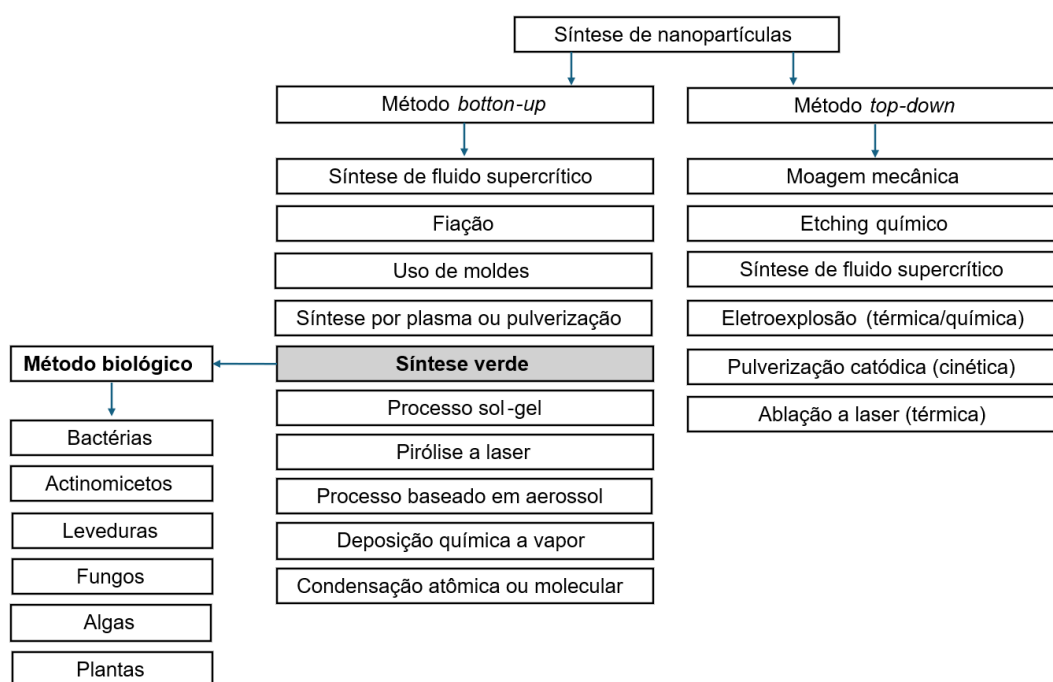
Figura 2 – Métodos de síntese de nanopartículas

Fonte: <https://nanotechnologyjd.weebly.com/>

O método convencional é realizado pela redução dos íons metálicos por agentes redutores, tais como: borohidreto de sódio, citrato de sódio e dodecilsulfato de sódio. Esses compostos são tóxicos, inflamáveis e não são facilmente degradáveis, sendo necessário um tratamento para seu descarte (Norizi, 2014; Keat, 2015). A síntese por essa rota limita as aplicações das NPs, visto que gera resíduos potencialmente nocivos para a saúde e para o meio ambiente, com isso restringindo as potencialidades do uso desses materiais na indústria farmacêutica e clínica (Albernaz, 2014; Swamy, *et al*, 2015).

Diante disso surge a necessidade do estudo de rotas alternativas e mais seguras, com menor impacto ambiental, entre essas alternativas tem-se a síntese verde. A síntese verde, um método bottom-up (Figura 3), consiste na utilização de organismos biológicos, ou parte deles (principalmente de origem vegetal como folhas, caules ou frutos) para substituir reagentes químicos potencialmente tóxicos para o ambiente, para obtenção de nanocompostos, apresentando-se como alternativa sustentável e ecológica (Iravani, 2011). Além apresentar maior biocompatibilidade e biodegradabilidade (Albernaz, 2014).

Figura 3 – Principais métodos de obtenção de nanopartículas



Fonte: Adaptado de Iravani (2011);

Essa rota também apresenta melhor viabilidade econômica, visto que o uso de extratos vegetais possui baixo custo e grande disponibilidade (Norizi, 2014), além disso as plantas possuem diversas estruturas celulares e processos fisiológicos para combater a toxicidade dos metais e manter a homeostase (Keit, 2015). Por isso, há um crescente estudo para o desenvolvimento desses métodos para síntese de nanopartículas de modo que sejam menos agressivas ao meio ambiente, surgindo, assim, o termo biossíntese (Medeiros, 2021).

Além da biossíntese de NP possuírem menor toxicidade e maior eficiência, quando comparado a outros métodos, ela promove maior estabilização dessas partículas, isso ocorre devido a muitas biomoléculas presentes nas plantas (como enzimas, aminiácidos, alcalóides, vitaminas) podem estar envolvidas na bio redução, formação e estabilização dessas partículas (Iravani, 2011; Akhtar *et al*, 2013; Albernaz, 2014; Naikoo, 2021). Além desses benefícios, essas biomoléculas atuam como estabilizantes das NPs, pois recobre sua superfície limitando seu crescimento.

Outros fatores que influenciam na formação e estabilidade de nanopartículas, que também estão presentes nos extratos vegetais é a presença de polifenóis, enzimas ou outros agentes quelantes que, além de funcionar como agentes

redutores, evitam o processo de oxidação, aumentando a validade das nanopartículas (Iravani, 2011).

2.3. Família Arecaceae

O Brasil possui o privilégio de abrigar a maior área da floresta amazônica, sendo uma região com uma quantidade inestimável de recursos naturais que podem ser explorados e que ainda são sub-aproveitados. De acordo com o Instituto brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Amazônia legal apresenta uma área de 5.015.146,008 km², correspondendo a cerca de 58,93% do território brasileiro (IBGE, 2022). Essa grande extensão territorial contribui para uma elevada diversidade vegetal, dando ênfase para as palmeiras da família Arecaceae.

A família Arecaceae é a designação científica atribuída às palmeiras ou também conhecida como Palmae, ela corresponde à ordem Arecales, cuja classe é a Liliopsida e a divisão/filo designa-se por Magnoliophyta. É considerada uma família média composta por 3.000 espécies de palmeiras no planeta. No Brasil, ela representa cerca de 390 espécies, sendo a maior parte nativa da Amazônia, onde é reconhecido cerca de 41 gêneros e 290 espécies. Desses 41 gêneros destaca-se de forma regional, nacional e internacional os gêneros *Euterpe*, *Bactris*, *Astrocaryum*, *Oenocarpus* e *Jessenia*, que totalizam 20 espécies potencialmente econômicas para o agronegócio de frutos, palmito e óleo comestível, e mais recentemente, como alternativa para a produção de biodiesel (Sousa, 2019).

Essas palmeiras estão entre as espécies de maior longevidade no reino vegetal, bem como entre as plantas vasculares mais abundantes nos trópicos; fazem parte de um dos principais troncos da evolução das monocotiledôneas e estão entre as angiospermas mais antigas do planeta. Mundialmente disseminadas e adaptadas a uma variedade de climas e solos, contudo, estão presentes em maior número de espécies nas regiões tropicais e subtropicais, com clima quente e úmido, desempenhando papéis importantes na estrutura e funcionamento de diversos ecossistemas, sendo fontes importantes de produtos florestais não madeireiros (Oliveira, *et al.* 2018).

Espécies pertencentes a essa família caracterizam-se por apresentar estipe geralmente lenhoso, simples ou ramificado, frequentemente recoberto por espinhos. As folhas podem ser simples, alternadas ou raramente dísticas, sendo palminérvias

ou compostas por segmentos foliares. A inflorescência e infrutescência são monocotiledôneas, e os são do tipo drupa, raramente como baga, apresentando somente uma semente (Souza, 2012).

Espécies espinhosas da família Arecaceae, denominadas Tucumanzeiro, ocupam grandes extensões formando os conhecidos tucumanzais (Souza; Lima, 2019), que podem ser encontrados em igapós, terras firmes e várzeas (Oliveira, *et al.* 2003).

2.4. Gênero *Astrocaryum*

O gênero *Astrocaryum* são palmeiras espinhosas, geralmente toucerada com outros caules em número variável, de dois a seis caules. Atinge até 10 m de altura e com 10 a 20 cm de diâmetro, cobertos com espinhos pretos com cerca de 20 cm de comprimento. Cachos com cerca de 1 m e 150 frutos elipsoides verdes que adquirem cor amarelo alaranjada quando maduros (Brasil, 2022).

Astrocaryum é amplamente distribuído na América do Sul, se estendendo até o norte da América Central e Guatemala. No Brasil, distribui-se geograficamente na região Norte; nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins; na região Nordeste nos estados da Bahia, Maranhão e Piauí; na região Centro-Oeste nos estados de Goiás e Mato Grosso; na região Sudeste, nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo; e na região Sul, nos estados do Paraná e Santa Catarina (Flora Do Brasil 2020 Em Construção, 2017).

É uma espécie muito conhecida pela população ribeirinha devido a sua importância comercial e social, visto que é uma espécie que produz cerca de 50 quilos de frutos por ano, mesmo em solos pobres. Em geral, os tucumanzeiros produzem de 2 a 3 cachos anualmente, mas podem chegar a mais de 5. Cada cacho pesa entre 10 e 30 quilos e contém de 200 a 400 ou mais frutos (Brasil, 2022).

Como todas as palmeiras, o tucumã possui muitos recursos, o fruto serve para fazer vinho, sorvete, picolé, sabão, alimentação para porcos, gados, peixes, galinhas e caça. O caroço serve para fazer anéis, pulseiras, colares e petecas. As joias de tucumã e inajá não são apenas enfeites, elas também são usadas como proteção contra doença e mal olhado. O óleo serve para cozimentos, sabão, cosméticos e medicamentos. As palhas servem para confecção de redes de pesca, chapéus, sacolas, tecidos, cordas (as fibras resistentes são superiores às da bacaba). Os

espinhos são utilizados para brincos de tucumã, na ponta de dardos e em agulha para tecer varanda de redes para dormir (Shanley, 2005).

Um dos motivos da diversidade de aplicações dessa espécie de tucumã é seu alto índice nutricional. Segundo Ferreira et al., 2008, esse fruto possui grandes propriedades nutricionais, como fonte de caloria, fibras, provitaminas A (caroteno) e lipídeos, especialmente do ácido graxo oleico sendo de grande valia para a agroindústria. Conforme Shanley (2005), o tucumã apresenta vitamina A em sua composição, sendo que este fruto apresenta três vezes mais vitaminas A que a cenoura, sendo considerado grande fonte de alimento para os animais e para os seres humanos (Miller, 2013).

Este gênero compreende diversas espécies, das quais destacam-se *A. segregatum* Dr., *A. princeps* Bard., *A. giganteum* Bar., *A. tucuma* Mart., *A. acaule* Mart., *A. cantensis*, *A. chonta* Mart., *A. leisphota* Bard., *A. undata* Mart., *Astrocaryum vulgare* Mart. e *A. aculentum* Meyer., sendo as duas últimas mais conhecidas na região norte do Brasil. (Villachica, 1996).

2.5. *Astrocaryum vulgare* Mart.

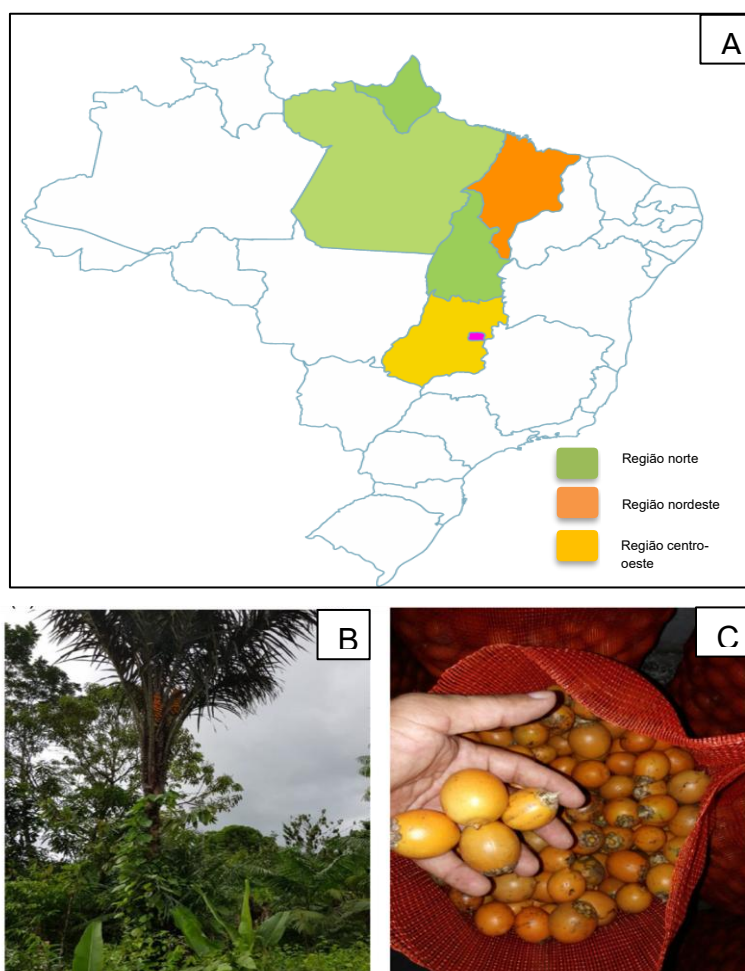
Astrocaryum vulgare Mart (Figura 4B) é uma planta nativa do Brasil que pertence à família das Arecaceae e gênero *Astrocaryum* que cresce principalmente em partes da região norte, nordeste e centro-oeste do Brasil (Figura 4A), também sendo encontrada em alguns países vizinhos como Guiana Francesa, Peru e Venezuela. Popularmente é conhecida como tucum-bravo, tucum-da-mata, tucum-piranga, tucumai e tucumã-do-pará (Oliveira et al., 2022).

É uma espécie que possui espinhos pretos e flexíveis em quase todas as partes, de tamanhos variáveis, no estipe onde formam anéis da base até o capitel de folhas, porém ocorre planta inermes; o caule é cespitoso, emitindo de 0 a 18 perfilhos e, algumas vezes, monocaule, de porte médio, com 4 a 15m de altura e 15 a 20cm de diâmetro; tem folhas pinadas com inserção quase ereta, de 5 a 7m de comprimento, bainha e pecíolo de 1 a 2m de comprimento com 73 a 120 pares de pinas lineares, irregularmente distribuídas, com 8 a 16 por planta; inflorescência interfoliar, ereta com pedúnculo de 0,9 a 1m de comprimento e 116 ráquias; bráctea peduncular espinhosa, de 1 a 1,3m de comprimento; com até treze cachos por planta contendo 568 frutos; o fruto é uma drupa, globosa a elíptica, de 3,1 a 5,4cm de

comprimento e de 2,5 a 4,8cm de diâmetro, com epicarpo liso, de coloração indo do amarelo ao vermelho; mesocarpo carnoso, fibroso a pouco fibroso, adocicado ou não, indo do creme ao alaranjado; endocarpo duro e lignificado de 1,5 a 10mm de espessura, semente única, arredondada, podendo-se encontrar frutos sem semente ou até com duas sementes por fruto (Oliveira et al., 2022).

O tucumãzeiro floresce entre março e julho e frutifica na época chuvosa, ou seja, de janeiro a abril. Contudo, se bem manejada, essa palmeira pode dar frutos (Figura 4C) durante todo o ano (Cymerys 2005). Sua frutificação se inicia a partir do 4º ano de plantio, quando as plantas apresentam de 1,5 a 5m de altura. Uma planta adulta deve produzir de três a cinco cachos, com peso de 10 a 30kg/cacho e de 200 a 400 frutos/cacho. A produção pode alcançar 50kg de frutos/ planta/ano com estimativa de produtividade de 13,9 a 20t de frutos/ha/ano (Oliveira et al., 2022).

Figura 4 –. Distribuição(A). Exemplar adulto Espécie *Astrocaryum vulgare* (B). Fruto (C)



Fonte: Silva (2019); Oliveira et.al (2022)

O fruto, caracterizado pela coloração alaranjada, formato oval e por ser não suculento (Yuyama et al., 2008), apresenta importantes propriedades nutricionais, sendo fonte de energia, fibras, pró-vitamina A (caroteno) e lipídeos, especialmente do ácido graxo oleico, além de apresentar baixo teor de açúcar (Ferreira et al., 2008).

Apesar de seu grande potencial socioeconômico, seu uso ainda se restringe ao comércio local, no qual, segundo Lima (2014), seus principais usos são: na alimentação, tanto *in natura*, quanto misturados com farinha de mandioca (mingau de farinha), fervido (vinho), como suco ou creme; na alimentação animal, para confecção de artesanato, também como uso medicinal, que não está diretamente relacionado com o fruto, mas às larvas de besouro (Coleoptera) conhecidas popularmente como “tabaruá” ou “broca do tucumã” e encontradas dentro dos caroços envelhecidos, conforme a população local, podem ser usadas contra asma, inchaço, luxações, contusões, derrame, reumatismo e picadas de formigas-tucandeiras (*Paraponera clavata* F.).

2.6. Óleo do bicho-do-tucumã

A exploração de frutas regionais produz uma quantidade significativa de resíduos pouco explorados como cascas, caroço e polpa processada, o que torna necessário a busca por alternativas para estudos sobre a utilização racional dos produtos e subprodutos da cadeia produtiva, para que possa gerar um retorno econômico, social e auxiliar na preservação e sustentabilidade dos recursos naturais (SANTOS, 2021).

Um exemplo é o óleo do bicho-do-tucumã, muito conhecido na região do arquipélago do Marajó (00' 02" S, 50° 12' 28), o óleo do bicho-do-tucumã (ou simplesmente óleo do bicho), é um produto originário da extração do óleo de uma larva de besouro coleóptero chamado *Speciomerus ruficornis* Germar, o polinizador da espécie (Figura 5) (Pereira, 2021). Os ovos besouro, depositados no caroço do fruto, quando atingem o estágio larval se alojam em seu interior, utilizando-o como abrigo e se alimentando da amêndoa presente no mesmo. Antes de chegar ao final do desenvolvimento larval, formação do besouro, as larvas são retiradas para a

obtenção do óleo (Rocha et al., 2014). A Figura 5, destaca os estágios de desenvolvimento larval de *S. ruficornis*.

Figura 5 - Estágios de desenvolvimento de *S. ruficornis*



Fonte: Pereira (2021)

De acordo com Jesus (2022), tradicionalmente a extração do óleo do bicho inicia-se com a seleção e coleta dos caroços com perfurações indicativas da presença de larvas. Em seguida, os caroços são quebrados para a retirada das larvas e higienização das mesmas. Posteriormente, as larvas são aquecidas para a obtenção do óleo, que ao final do processo, é filtrado e armazenado em frascos de vidro ou de plástico. Esse produto é comumente comercializado na região, sendo muito utilizado na medicina tradicional para garganta e dente inflamados, dores de ouvido e na cabeça, cicatrização de ferimentos, baques/hematomas, varizes/dores nas pernas e pequenos nódulos (Pereira, 2021).

Rocha et al. (2014), ao investigar aplicações do óleo do bicho nas comunidades Caju-Úna, Céu e Pesqueiro da região marajoara, obteve resultados semelhantes aos citados na literatura (Tabela 1). Os autores apontam ainda relatos do uso de forma pura ou com associações com outras espécies como a arruda (*Ruta graveolens* L.), o pirarucu (*Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers.) e o desinflama (*Kalanchoe* sp. Adans.).

Tabela 1 - Principais aplicações do óleo do bicho na região marajoara

CID (OMS)	Citações de Uso	Caju-Úna	Céu	Pesqueiro	Total (%)
Doenças infecciosas e parasitárias	Garganta	1	-	-	2,5
	Inflamações	3	3	4	25
	Dente inflamado	1	1	-	5
	Tumorzinho	1	-	-	2,5
	Dor de ouvido	-	1	-	2,5
Doenças de pele e do tecido subcutâneo	Cicatrização de feridas	1	2	-	7,5
Transtornos do sistema nervoso	Dor de cabeça	2	-	-	5
	Fraqueza do cérebro	1	-	-	2,5
Transtornos do sistema digestivo	Estômago	1	-	-	2,5
Sistema mioosteoarticular	Baque	1	2	-	7,5
-	Desmentidura	-	1	-	2,5
Transtornos do sistema geniturinário	Útero	-	-	1	2,5
-	<i>Bom pra todas as enfermidades</i>	1	-	1	5
Total	-	13	10	6	-

Fonte: Rocha (2014)

O perfil químico do óleo do bicho obtido por Rocha et al. (2014), apontou a presença majoritária de ácidos graxos saturados e insaturados, como ácido láurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico e ácido linoleico. Estes compostos, são apontados como os responsáveis pela ação anti-inflamatória indicadas na medicina tradicional, já que diminuem a produção de mediadores pró-inflamatórios.

Observa-se na literatura que o tucumã e o óleo do bicho-do-tucumã apresentam diversas propriedades terapêuticas, devido a presença de diversos bioativos. O óleo do bicho-do-tucumã, apresenta diversas aplicações farmacêuticas, medicinais e químicas, devido às suas propriedades emolientes, anti-inflamatórias e ao seu conteúdo de ácidos graxos (Monteiro et al., 2024). Os frutos do tucumã-do-pará apresentam elevada concentração de carotenoides, que concede seu caráter antioxidante, sendo sua casca uma fonte desses compostos para a indústria

alimentícia, cosmética e farmacêutica (Matos et al., 2019). Estudos indicam o uso alternativo do óleo do fruto para tratar hiperglicemia e seu efeito preventivo de doenças inflamatórias (Santos, 2022). Oliveira, et al. (2018) destacam que o tucumã apresenta também atividade citotóxica, lectínica e antimicrobiana, reforçando seu potencial bioativo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Sintetizar nanopartículas de prata mediadas pelo extrato aquoso de tucumã e avaliar, por meio de ensaios *in vitro*, o potencial terapêutico do extrato, das nanopartículas e do óleo do bicho-do-tucumã.

3.2. Objetivos específicos

- Obter nanopartículas de prata utilizando extrato aquoso de *Astrocaryum vulgare* Mart.;
- Avaliar o potencial antioxidante frente aos radicais DPPH•, ABTS+• e FRAP do extrato, nanopartícula de prata e óleo do bicho;
- Derivatizar de óleo fixo, visando à análise do perfil químico por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM);
- Avaliar os extratos aquosos por espectrometria de massas com ionização por electrospray (ESI-MS)
- Determinar o potencial antimicrobiano frente as cepas a *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Streptococcus pneumoniae* ATCC 49619, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Burkholderia cepacia* e *Candida albicans*.
- Avaliar o potencial alelopático do extrato, nanopartícula e óleo do bicho frente as sementes de alface (*Lactuca sativa*)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Óleo do bicho-do-tucumã

4.1.1. Obtenção do óleo

O óleo do bicho-do-tucumã foi adquirido em comércio local na região da ilha do Marajó, no estado do Pará, em novembro de 2024. Por se tratar de um produto local, não existe uma padronização de embalagem ou rotulagem, sendo armazenado em garrafas PET, onde é vendido em feira livre ou permuta.

4.1.2. Derivatização de triglicerídeos em ésteres metílicos

Para a obtenção dos ésteres metílicos, foram pesados 0,075 g de óleo em um tubo de reação de vidro (PYREX) e adicionados a 3,5 mL de uma solução de metóxido de sódio (NaOCH_3) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. A mistura foi submetida a aquecimento em banho-maria por 10 minutos. Após o resfriamento, acrescentaram-se 6,0 mL de solução de trifluoreto de boro (BF_3) a 12% (v/v), mantendo-se a reação por mais 40 minutos no mesmo sistema de aquecimento (Joseph; Ackman, 1992).

Concluída essa etapa, o produto foi transferido para um funil de separação, realizando-se a partição com três alíquotas de 6 mL de n-hexano. O extrato resultante foi coletado em frascos de 20 mL e submetido à evaporação sob fluxo contínuo de nitrogênio. Em seguida, os compostos foram purificados por cromatografia de adsorção em coluna preparativa. A eficiência da conversão foi acompanhada por Cromatografia em Camada Delgada (CCD) e posteriormente determinada pela diferença de massa obtida.

4.1.3. Análise por Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM)

Os constituintes voláteis dos ésteres metílicos derivatizados (1 mg/mL) foram analisados em um cromatógrafo (Trace Gc Ultra) acoplado ao espectrômetro de massas, modelo ISQ Single Quadrupole (Thermo Scientific), equipado com coluna DB-5MS, com $30 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm}$, espessura do filme interno de $0,25 \mu\text{m}$. A temperatura da coluna foi programada de 40 a 280°C . A temperatura do injetor e da fonte foi configurada para 220°C e 250°C , respectivamente. A faixa de massa analisada foi m/z 40 a 600. A caracterização química baseada nos índices de Kovats, calculados a partir dos tempos de retenção de padrões n-alcanos e na avaliação dos fragmentos

presentes nos espectros de massa, comparados com dados contidos na literatura (ADAMS, 2007).

4.2. Extrato da polpa do tucumã

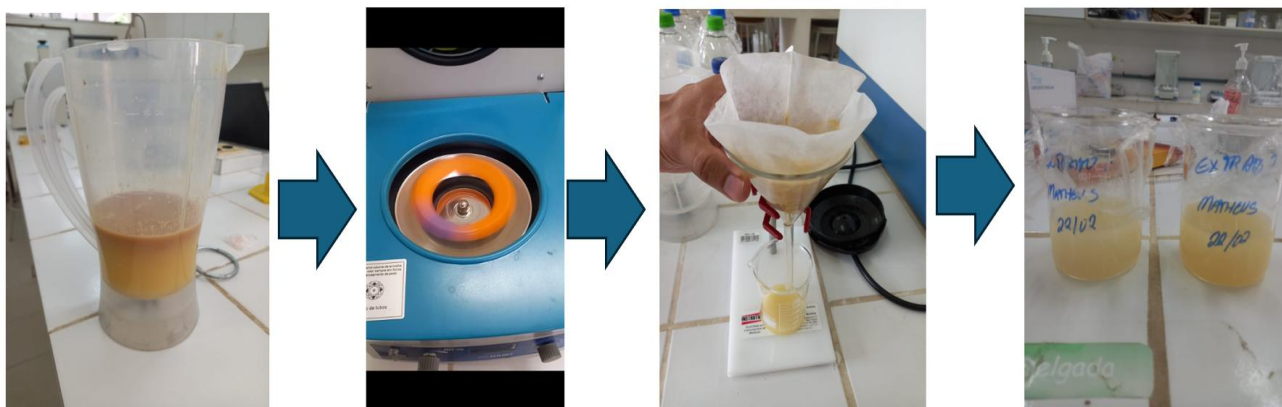
4.2.1. Obtenção do fruto de *Astrocaryum vulgare*

Os frutos da *Astrocaryum vulgare* foram obtidos na mesorregião da Ilha do Marajó (0° 58' S 49° 34' O), um arquipélago formado por 16 municípios e com aproximadamente 40.000 km² de área ocupada. Como se trata de um fruto sazonal, cuja safra fica entre os meses de janeiro e maio, foi necessário a compra da polpa do fruto no comércio local. A amostra foi colocada para secar em uma estufa em 50°C por aproximadamente 24h, a fim de aumentar o tempo útil para aplicação.

4.2.2. Preparação do extrato vegetal

O extrato aquoso de tucumã (EAT) foi preparado a 1% homogeneizando a polpa em água por 5 min, seguida de centrifugação a 3.000 RPM por 10 min e filtração do sobrenadante, conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6 - Processo de preparo do extrato aquoso



Fonte: Autor (2025)

4.2.3. Síntese da nanopartícula de prata

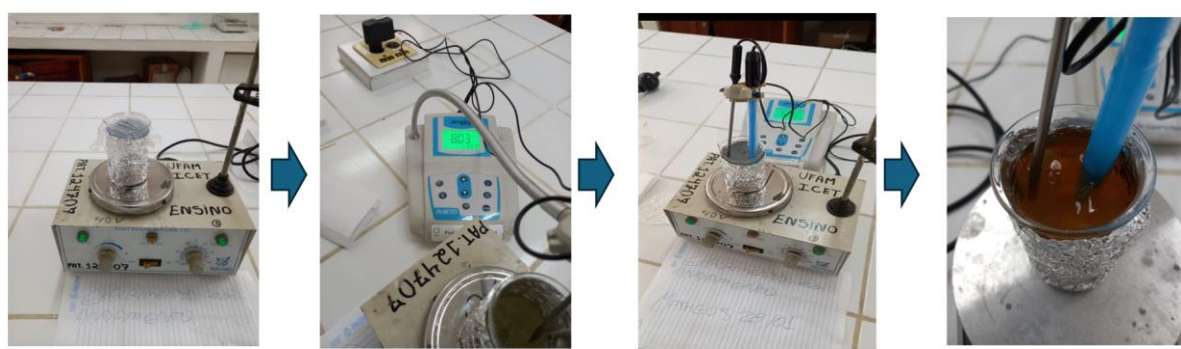
4.2.3.1 Preparo da solução de prata (AgNO_3)

Para o preparo da solução de concentração $1 \times 10^{-4} \text{ M}$, foram utilizados 0,0084 g de nitrato de prata (AgNO_3), dissolvidos em 500 mL de água destilada utilizando um balão volumétrico de mesmo volume. Como a solução é fotossensível, o balão foi protegido com folhas de papel alumínio para evitar degradação. Para ensaios que exigiam maior volume de solução, esta foi armazenada em um recipiente âmbar maior, igualmente protegido com papel alumínio.

4.2.3.2. Síntese verde de AgNPs utilizando o extrato aquoso da polpa de *Astrocaryum vulgare*

Para a síntese das nanopartículas de prata (AgNPs), foram utilizados 99 mL da solução de nitrato de prata previamente preparado, aquecida a 30, 50 e 70 °C sob agitação constante em agitador magnético, conforme a figura 7. Ao atingir a temperatura desejada, adicionou-se 1 mL do extrato aquoso de tucumã previamente preparado, seguido do ajuste do pH para 7, 8 ou 9, utilizando um pHmetro. O sistema foi monitorado constantemente, considerando que, durante a síntese, grupos hidroxila (-OH) presentes em taninos e flavonoides são possivelmente responsáveis pela redução dos íons de prata, causando diminuição contínua do pH (Tapudima, 2022; Santos, 2022).

Figura 7 - Processo de síntese de nanopartículas de prata.



Fonte: Autor (2025)

4.3. Ensaio antioxidante

4.3.1 Quantificação de Compostos Fenólicos Totais (FT)

O teorTrindade, determinado foi realizado no laboratório de pesquisa 215 do campus I e laboratório de pesquisa 107 do campus II, do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), conduzido pela professora Dra. Dominique do Carmo e professora Ma. Ivina Trindade, determinado em triplicata pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, procedimento amplamente utilizado para estimar a concentração desses metabólitos em extratos vegetais (Velioglu *et al.*, 1998). Para cada ensaio, adicionou-se 200 µL do extrato (1 mg/mL) a 1,5 mL do reagente de Folin-Ciocalteu, seguido da mesma proporção de solução de carbonato de sódio a 6%. Após a incubação por 90 minutos, em ambiente protegido da luz, a leitura da absorbância foi realizada em 725 nm utilizando espectrofotômetro UV-Vis (Bel Photonics, UV-M51). A curva de calibração foi construída com ácido gálico, em concentrações variando de 31,25 a 500 µg·mL⁻¹, obtendo-se a equação de regressão $y = 0,0059x + 0,0585$ ($R^2 = 0,9996$). Os resultados foram expressos em miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra (mg GAE·g⁻¹).

4.3.2. Avaliação da Atividade Antioxidante frente aos radicais DPPH•, ABTS+•• e FRAP.

A capacidade antioxidante do extrato, das nanopartículas e do óleo do bicho-do-tucumã foi avaliada por três abordagens complementares: sequestro dos radicais estáveis DPPH•• e ABTS+•••, e determinação do poder redutor do ferro (FRAP), todas mensuradas em espectrofotômetro UV/Vis (Bel Photonics, UV-M51). Para conversão da absorbância em concentração, foram construídas curvas padrão utilizando antioxidantes de referência: Trolox (100–2000 µM) para os ensaios DPPH•• e ABTS+•••, e sulfato ferroso (1–2000 µM) para o método FRAP. Os resultados foram expressos em micromolar de equivalentes de Trolox (µM TE) e micromolar de Fe²⁺ por grama de amostra (µM Fe²⁺·g⁻¹), respectivamente.

No ensaio com DPPH••, seguiu-se a metodologia de Molyneux (2004), com adaptações para leitura espectrofotométrica. Foram adicionados 100 µL dos extratos (1 mg/mL) a 3,9 mL da solução metanólica de DPPH•• (100 µM; Abs inicial = 0,998), em triplicata. Após incubação de 30 minutos no escuro, a absorbância foi medida a

515 nm. A curva padrão de Trolox apresentou equação $y = -0,0005x + 0,9934$ ($R^2 = 0,9937$).

Para o ensaio com ABTS+•, utilizou-se o protocolo de Re et al. (1999). Foram adicionados 30 µL do extrato (1 mg/mL) a 3 mL da solução radicalar (Abs inicial = 0,700), em triplicata, e mantidos por 6 minutos na ausência de luz. A leitura espectrofotométrica foi realizada a 734 nm, com curva padrão de Trolox expressa pela equação $y = -0,0003x + 0,621$ ($R^2 = 0,9500$).

O poder redutor pelo método FRAP foi determinado conforme Benzie e Strain (1996), com adaptações de Rufino (2006). O reagente FRAP foi preparado misturando tampão acetato (0,3 M; pH 3,6), TPTZ (10 mM) e $FeCl_3$ (20 mM). Para cada reação, adicionaram-se 90 µL do extrato (1 mg/mL), previamente diluído em metanol, a 270 µL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP. As amostras foram incubadas a 37 °C por 30 minutos, e a absorbância foi medida a 593 nm. A curva padrão de sulfato ferroso apresentou equação $y = 0,0006x + 0,4718$ ($R^2 = 0,9988$).

4.4. Ensaio antimicrobiano

A atividade antimicrobiana foi conduzida em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), nela foi avaliada por meio da técnica de difusão em ágar (Kirby e Bauer, 1966) seguindo o padrão MO2-A11 do Clinical and Laboratory Standards Institute (Clinical And Laboratory Standards Institute, 2012), com algumas modificações. As amostras (EAT, Np-EAT e OBT) foram testadas frente aos seguintes microrganismos provenientes da “American Type Culture Collection” (ATCC): *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Streptococcus pneumoniae* ATCC 49619, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603, *Burkholderia cepacia* ATCC 17759, *Serratia marcescens*, *Mycobacterium smegmatis* e *Candida albicans*.

As bactérias foram cultivadas por cultivados em caldo Luria Bertani (LB) e os fungos em caldo Sabouraud, durante 24 e 48 horas, diluídos com solução salina 0,9% de acordo com padronização do tubo 0,5 da escala de McFarland. Os microrganismos foram semeados com o auxílio de swab estéril em placa de Petri contendo meio Ágar Mueller Hinton. Posteriormente, foram adicionados 100uL das amostras em poços circulares feitos nas placas de ágar, em triplicata. Foram adicionados como controles positivo a amoxicilina (50 ug/mL) e o negativo 1% de DMSO. As placas foram incubadas em aerobiose a 36°C/37°C por 16-18 h e 48h para bactérias e leveduras

respectivamente. Após o período de incubação a atividade antimicrobiana pela presença e diâmetros de halo de inibição, seguindo os critérios de Silva (2012):

- Negativo (-): ausência de halo;
- Baixa (+): diâmetro do halo de inibição entre 7 a 12 mm;
- Moderada (++) : diâmetro do halo de inibição entre 13 a 16 mm;
- Alta (+++) : diâmetro do halo de inibição superior a 17 mm;

4.5. Bioensaio de alelopatia

O efeito alelopático foi realizado no laboratório de pesquisa 209, campus II, do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICET) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), conduzido pela professora Dra. Maiara Ávila. Foi avaliado em um bioensaio em delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos, quatro tratamentos testemunha: a água destilada, o extrato aquoso do tucumã a 10,0 mg/mL, AgNO_3 ($1,0 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$), uma solução do tensoativo (*Plantacare* 2000) a 1% (v/v) e três concentrações de AgNPs (nanopartículas) em água 0,1%, 0,5% e 1,0% (m/v) e óleo de tucumã emulsionado com tensoativo *Plantacare* 2000 (Decil poliglucosídeo), na proporção 1:1, e a partir dessa emulsão foi preparada uma solução de 1% (v/v).

O bioensaio de germinação foi conduzido conforme metodologia de Mendes *et al.*, 2013. Os resultados foram obtidos e expressos conforme critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). As variáveis mensuradas foram: porcentagem de germinação (%G), tempo médio de germinação (TMG), velocidade média de germinação (VG), o vigor pelo índice de velocidade de germinação (IVG) e comprimento médio da raiz primária (CMR), por meio de suas respectivas fórmulas matemáticas, de acordo com a recomendação na literatura (Maguire, 1962; Labouriau; Valadares, 1976). O vigor de crescimento das plântulas foi estimado com base no comprimento da radícula, conforme Nakagawa, 1999. Foram realizadas avaliações diárias, até que não houvesse germinação por 3 dias consecutivos.

4.5.1 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à normalidade e testes de erros de homogeneidade e, em seguida à análise de variância (ANOVA) e as médias

resultantes comparadas entre si aplicando-se o teste de Tukey ao nível de 5 % de significância, utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização química do óleo do bicho-do-tucumã.

A análise por CG-EM de OBT revelou a presença de diversos constituintes, cujas áreas relativas estão apresentadas na Tabela 2.

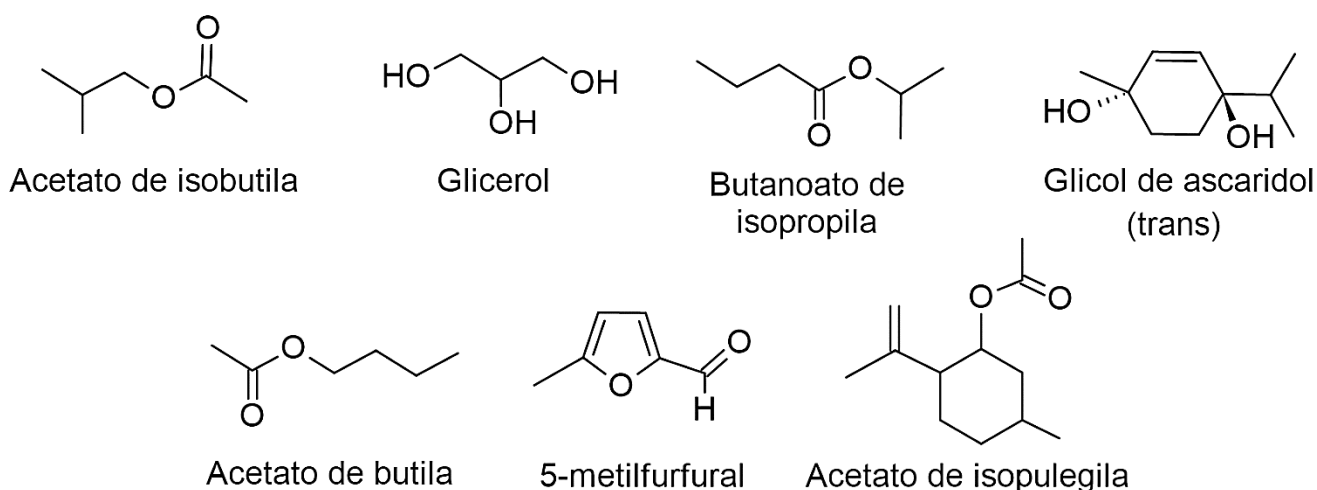
Tabela 2- Substâncias presentes no óleo de bicho-do-tucumã (OBT)

TR	<i>I.kcal</i>	<i>I.Ktab</i>	<i>Substância</i>	<i>CLASS E</i>	<i>AREA %</i>
3,96	748	761	Acetato de Isobutila		15,3
6,53	818	811	Acetato de butila		6,85
7,21	837	836	Butanoato de Isopropila		9,18
11,61	956	950	Glicerol		10,22
13,94	955	957	5- metilfurfural		6,95
16,05	982	983	2-hidroxi-4-metilpentanoato de metila		5
17,31	1049	1049	(2E)-oct-2-en-1-al		1,43
17,96	1057	1050	Levulinato de etila		4
19,71	1080	1081	3-acetil-2,5-dimetilfurano		3
21,81	1107	1110	Acetato de oct-3-en-1-ila		4
23,47	1129	1133	(cis-p)-menta-2,8-dien-1-ol	MO	10
25,55	1263	1266	Glicol de ascaridol (trans)	MO	8
26,76	1281	1283	Acetato de isopulegila	MO	5,44
28,25	1354	1350	α -longipineno	SH	7,1
32,29	1469	1469	β -acoradieno	SH	3,28
Total					99,75

Fonte: Adams, 2017. TR: Tempo de Retenção; **I. Kcal**: Índice Aritmético calculado; **I.Ktab**: Índice de Retenção de acordo com Adams (2017); **SH**: Sesquiterpeno de hidrocarboneto; **SO**: Sesquiterpeno oxigenado; **MO**: Monoterpeno oxigenado; **SH**: Sesquiterpenos hidrocarboneto.

Fonte: Autor (2025)

Os principais compostos identificados foram o acetato de isobutila (15,3%), o glicerol (10,22%), o butanoato de isopropila (9,18%), o glicol de ascaridol (trans) (8%), o acetato de butila (6,85%), o 5-metilfurfural (6,95%) e o acetato de isopulegila (5,44%), representados pela Figura 8. Juntos, esses compostos representaram a maior fração da composição química do óleo.

Figura 8 -Componentes majoritários após derivatização do OBT.

Fonte: Autor (2025)

Segundo Satyal (2012) no grupo dos monoterpenos oxigenados (MO), os compostos (cis-p)-menta-2,8-dien-1-ol (10%), glicol de ascaridol (8%) e acetato de isopulegila (5,44%) indicam uma contribuição significativa dessa classe, que possivelmente está associada a efeitos antimicrobianos e anti-inflamatórios em óleos essenciais.

Entre os sesquiterpenos hidrocarbonetos (SH), identificaram-se o α -longipineno (7,1%) e o β -acoradieno (3,28%), representando um total de 10,38%. Esses compostos são descritos na literatura como possuindo propriedades anti-inflamatórias, citotóxicas e possivelmente antifúngica (Kumar, 2019; Silva, 2016) e repelentes, o que sugere uma possível aplicação do OBT nesse contexto.

De modo geral, o perfil químico obtido demonstra que o óleo fixo de OBT apresenta uma composição diversificada, rica em ésteres e monoterpenos oxigenados, classes de compostos comumente associadas a efeitos antimicrobianos, antioxidantes e repelentes.

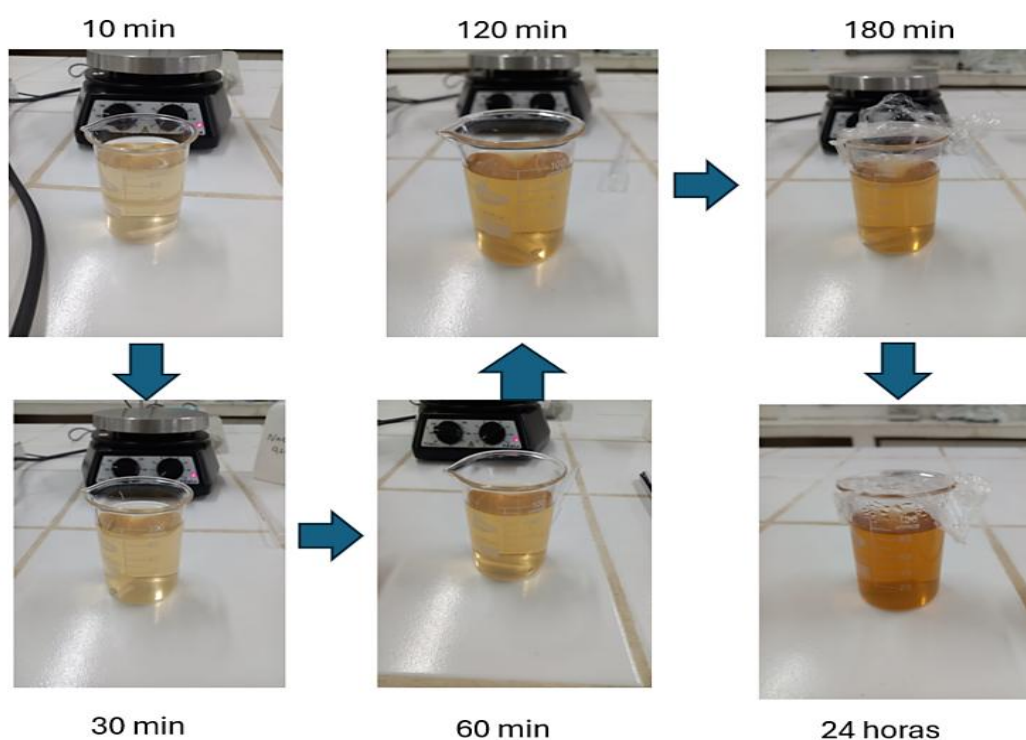
5.2. Constituintes Químicos do extrato aquoso (EAT)

O estudo da espécie *Astrocaryum vulgare* apresenta grande relevância devido ao seu potencial biotecnológico, sendo a análise química do extrato uma etapa importante para compreender seu potencial e contribuir com o conhecimento científico da espécie. Embora, os espectros tenham sido obtidos por espectrometria de massas, a identificação dos íons fragmentados encontra-se em análise, uma vez que dados referentes a sua composição química são limitados.

5.3. Síntese de Nanopartícula de Prata

As dispersões de nanopartículas de prata exibem cores intensas devido à absorção por ressonância plasmônica. A superfície de um metal é como um plasma, com elétrons livres na banda de condução e núcleos carregados positivamente. (Guzman; *et al.* 2009). Soluções coloidais de nanopartículas apresentam coloração entre marrom, amarelo-claro e vermelho-claro, onde, segundo Santos (2022) e Tapudima (2022) essa mudança de cor ocorre de forma gradual com o aumento do tempo de reação. Essa transição pode ser observada na figura 9.

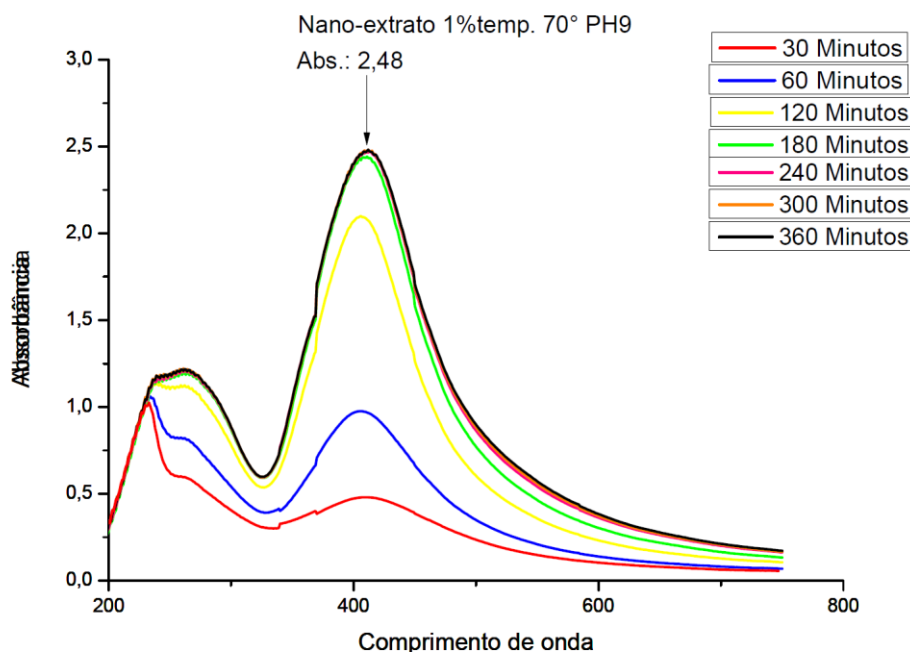
Figura 9 -Transição da cor da solução durante a síntese das nanopartículas.



Fonte: Autor (2025)

De acordo com Tapudima (2022), embora a análise visual auxilie qualitativamente na condução das atividades experimentais, ela não permite avaliar quantitativamente o impacto de alterações no meio reacional sobre a quantidade e as características das AgNPs formadas. Para obter essas informações, é necessária a utilização de técnicas adicionais, como a espectroscopia eletrônica de absorção molecular na região do UV-Vis, que possibilita a identificação de transições eletrônicas de grupos específicos presentes nas diferentes biomoléculas (Pavia et al., 2010). O resultado obtido por essa técnica é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Espectro eletrônico de AgNPs em função do tempo. pH 9,0; T: 70 °C e concentração de extrato 1,0%.



Fonte: Autor (2025)

Na figura 8 observa-se a formação de duas bandas, sendo a primeira com seu pico no comprimento de onda entre 200 e 300 nm, enquanto a segunda se encontra majoritariamente no comprimento de onda de 400 nm. A primeira banda apresenta absorvância máxima em torno de 250 nm, atribuível à transição eletrônica $n \rightarrow \pi^*$, característica de carbonilas (Pavia *et al.*, 2010). Conforme Santos *et al.* (2018), a polpa de tucumã é rica em compostos fenólicos e flavonoides contendo carbonilas, os quais, durante o progresso da síntese de AgNPs, são oxidados (álcoois transformados em cetonas), intensificando as transições $n \rightarrow \pi^*$ (Mittal *et al.*, 2014; Rao; Paria, 2013). Paralelamente, a segunda banda, com máximo em ~400 nm, corresponde à bandeja SPR das AgNPs formadas (Liu, 2017; Iskakova; *et. al*, 2025), e seu aumento gradual evidencia uma formação não instantânea das nanopartículas.

Esses achados convergem com os mecanismos apresentados na literatura: compostos fenólicos agem como agentes redutores e estabilizantes por meio de hidroxilas e carbonilas, facilitando a redução de Ag^+ (ex: ácidos fenólicos e quelação) (Liu, *et. al*, 2017); flavonoides promovem redução via doação de elétrons e tautomerização enol-ceto, liberando hidrogênios reativos (Shaikh, 2021); Iskakova; *et. al*, (2025) afirma que di-hidroxibenzenos respaldam uma formação de AgNPs

estável e lenta (~30 nm); extratos ricos em fenóis corroboram com banda SPR em ~408 nm e nanopartículas bem dispersas .

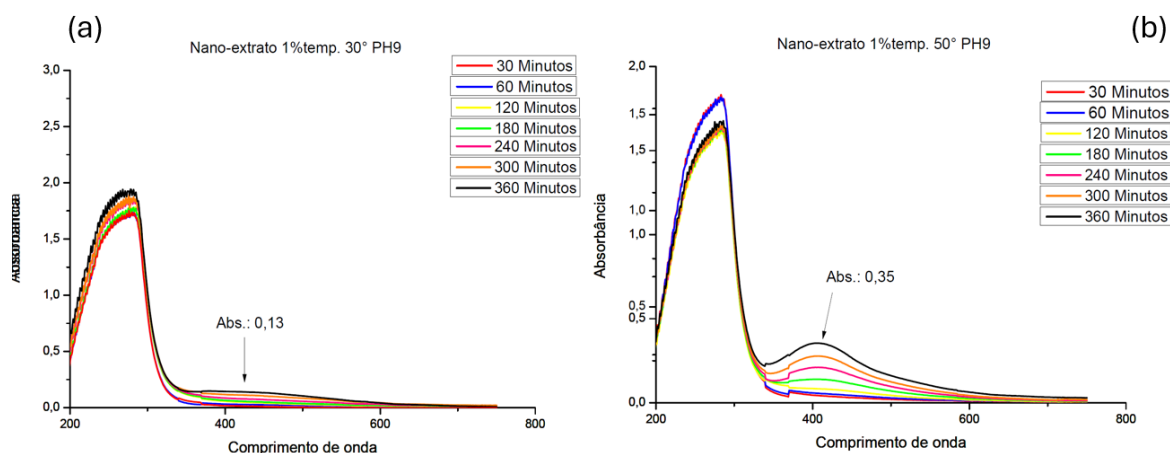
Zhang e Noguez (2008) afirmam que é possível estimar o tamanho das nanopartículas presentes em uma suspensão coloidal com base no espectro de absorção. Segundo os autores, nanopartículas com diâmetro entre 10 e 20 nm apresentam bandas de absorção em comprimentos de onda inferiores a 400 nm, enquanto a banda de maior intensidade, próxima de 400 nm, é característica de AgNPs esféricas com diâmetros aproximados de 40 a 60 nm.

A figura 8 apresenta os espectros eletrônicos nas melhores condições encontradas para a síntese (pH9, temperatura 70° e concentração 1%). A variação dessas condições também varia na quantidade de nanopartículas formadas, conforme afirma Akhtar (2013), no qual os principais fatores que afetam a biossíntese são: pH, temperatura e efeito de contato ou incubação. No presente trabalho foram realizados os testes variando a temperatura e pH.

Essas condições foram padronizadas e utilizadas para a realização dos ensaios biológicos devido à maior concentração de NPs evidenciada pelo maior pico de absorbância no comprimento de onda em aproximadamente 400 nm, sendo o pico máximo de 2,48 ao passar 360 minutos do início da síntese, no entanto, também pode-se observar que com 180 minutos de ensaio, não houve uma grande variação na absorbância do sistema, portanto foi padronizado a realizar a síntese nas 3 primeiras horas, não sendo necessário aguardar as 6 horas de experimento.

Também foram realizados testes com outras temperaturas (30° e 50°), pois, segundo Akhtar (2013) a temperatura pode ser um dos fatores cruciais para o tamanho, a forma e a quantidade de NPs formadas. Portanto, foram realizados ensaios variando a temperatura para 30° e 50°, mantendo as condições de concentração e pH. Nessas condições também foram observadas a formação de NPs, no entanto com menor quantidade, conforme mostrado na figura 11:

Figura 11 - Espectro eletrônico em função do tempo pH 9; T: 30° e 50° e concentração do extrato 1%.

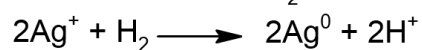
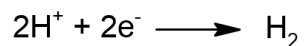
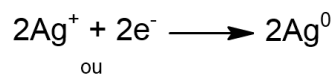
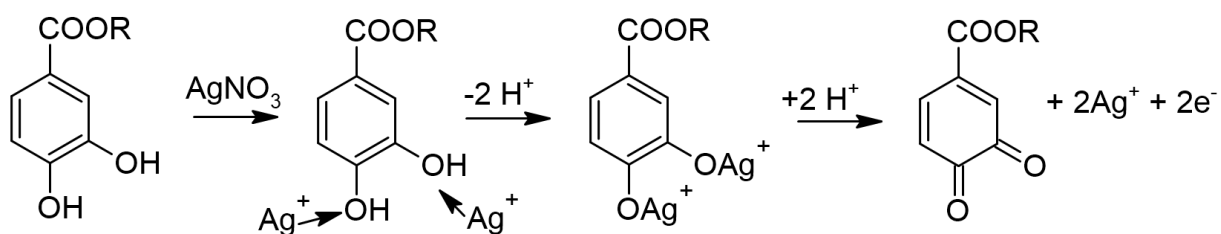


Fonte: Autor (2025)

Nesses casos ainda se observa picos de absorbância no comprimento de onda 400 nm, no entanto, na figura 11(a), para temperatura de 30° o pico de absorbância é de 0,13 enquanto na figura 11(b), com temperatura de 50° o pico de absorbância é de 0,35. Em ambos os casos, diferente da maior temperatura testada, o pico máximo de absorbância foi observado no tempo máximo analisado (360 min), ficando evidente que as NPs ainda não estavam estáveis, sendo necessário mais tempo de observação para identificar o período de estabilização.

Também foram realizados ensaios para observar como a variação de pH influencia na síntese das nanopartículas, pois, segundo Akhtar (2013) a variação de pH influencia diretamente na formação e estabilização de nanopartículas metálicas. Isso provavelmente ocorre devido ao próprio caminho reacional das nanopartículas (Figura 13), no qual os fitoquímicos presentes no extrato vegetal são possivelmente os responsáveis pela redução do íon metálico da prata até atingir a escala da nanopartícula (Santos, 2022; Tapudima, 2022), conforme sugerido por Rao e Paria (2013) na figura 12.

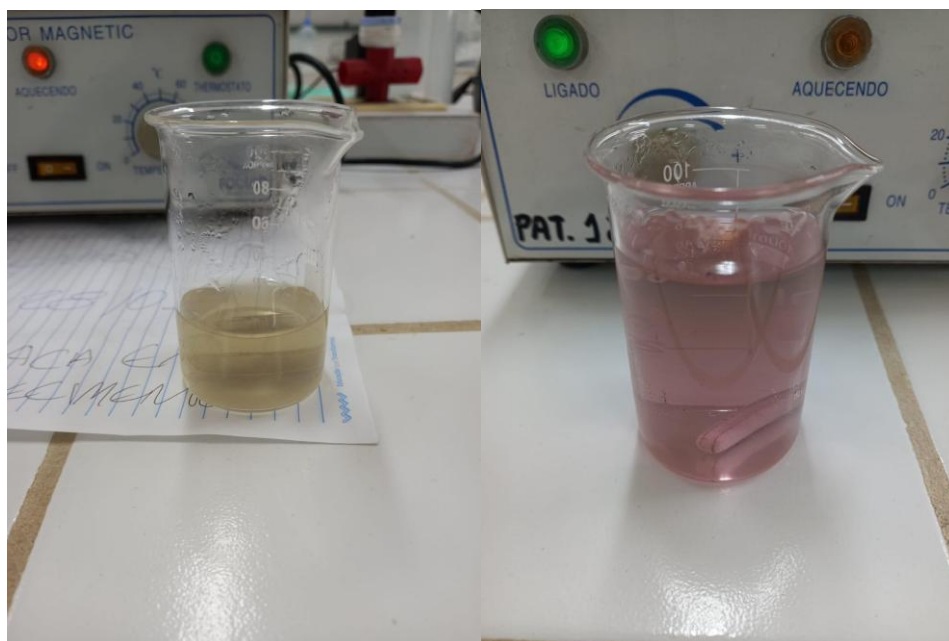
Figura 12 - Sugestão do caminho reacional da síntese da nanopartícula de prata.



Fonte: Rao e Paria (2013)

Devido a essa hipótese, foi realizado o teste com pH 7 e 8, no entanto, foi observada uma coloração amarelo-clara ou rosada, conforme ilustrado na figura 13.

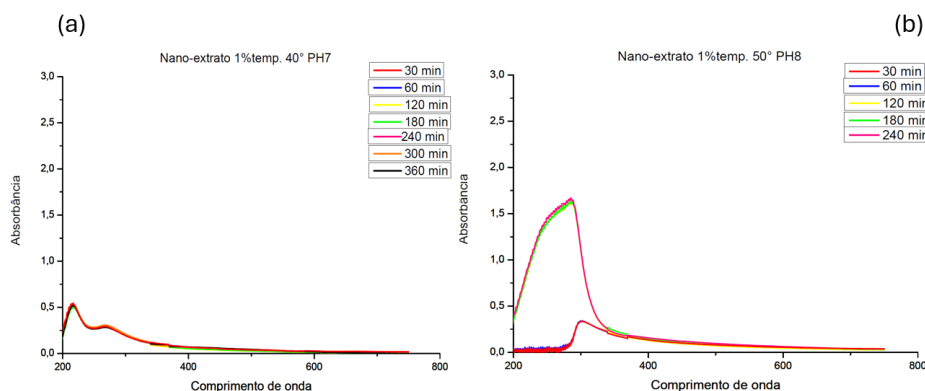
Figura 13 - Diferença de coloração para tentativas de síntese ineficazes



Fonte: Autor (2025)

Conforme citado anteriormente, apenas a mudança de coloração não ratifica que houve a formação de nanopartículas, sendo necessária a análise via UV-VIS, que é demonstrada na figura 14.

Figura 14 - Espectro eletrônico em função do tempo para pH 7, Temp.: 40° (a) e pH 8 Temp.: 50°, respectivamente, e concentração do extrato 1%.

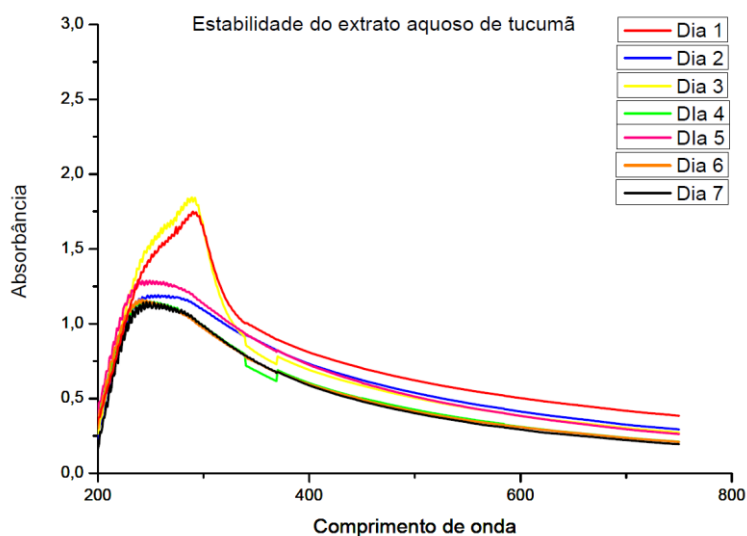


Fonte: Autor (2025)

Em ambos os gráficos se observa apenas um pico de absorbância entre 200 e 300 nm, sendo estes caracterizados pela presença dos metabólitos do extrato, não havendo nenhum pico característico das NPs. Outro ponto de destaque, é que no gráfico (a) foi realizado o ensaio durante 6h, no entanto no (b) observa-se apenas durante 4h. Isso ocorre devido às observações anteriores, nas quais a NP se forma nas primeiras horas de ensaio, onde, não observando a cor característica nas primeiras horas, não há a necessidade de manter o monitoramento, podendo descartar a amostra e iniciar outro ensaio.

Ainda analisando os gráficos acima, pode-se observar uma grande faixa de absorbância entre os comprimentos de onda 200 e 300 nm. Pavia (2010) afirma que bandas com comprimento de onda acima de 200 nm evidenciam a presença de sistemas aromáticos, frequentemente encontrados em flavonóides e carotenóides. A maior quantidade de compostos aromáticos pode ser observada quando realizamos a análise da estabilidade do extrato aquoso do tucumã através da figura 15.

Figura 15 - Espectro eletrônico em função do tempo do extrato aquoso de tucumã.



Fonte: Autor (2025)

No gráfico observamos a análise de UV-VIS do extrato do tucumã com concentração 1%, preparado conforme descrito anteriormente. No entanto, não foi possível realizar a leitura dessa solução, pois ainda estava muito concentrada para fazer essa análise. Por isso foi realizada a diluição desta solução em 1 ml de solução para 9 ml de água destilada, para assim conseguir ter um resultado satisfatório.

Também pode ser observado que há uma redução considerável na absorbância que possivelmente ocorre devido a degradação dos bioativos presentes no extrato, no entanto, no decorrer dos ensaios, foi utilizado o extrato em até 7 dias, pois até esse período, ainda era possível identificar os bioativos no gráfico e a síntese das nanopartículas.

5.4. Resultados de ensaios antioxidantes.

Os resultados para os ensaios antioxidantes frente aos três métodos realizados estão organizados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do ensaio antioxidante.

Amostras	DPPH• ($\mu\text{M TE}$)	ABTS+• ($\mu\text{M TE}$)	FRAP ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$)	FT (mg GAE/g)
EAT	$258,80 \pm 0,003$	$540 \pm 0,021$	$767,56 \pm 0,029$	$44,83 \pm 0,009$
Np-EAT	$3,47 \pm 0,003$	$64,44 \pm 0,011$	$240,89 \pm 0,031$	-
OBT	$643,80 \pm 0,064$	$1113,33 \pm 0,010$	$428,11 \pm 0,040$	-

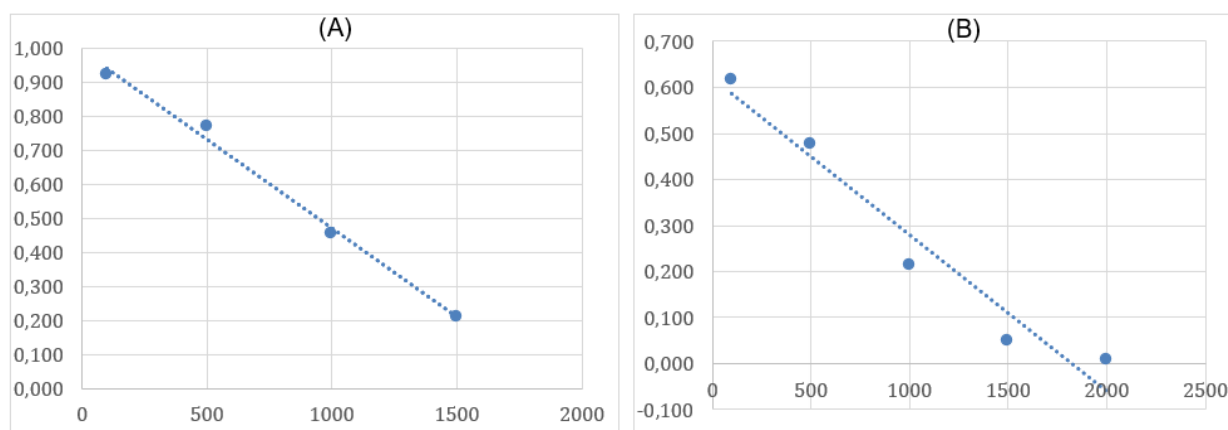
EAT: Extrato aquoso de tucumã; Np-EAT: Nanopartícula; OBT: Óleo do bicho-do-tucumã; $\mu\text{M TE}$: micromolares equivalentes de Trolox; $\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$: micromolares de equivalente de sulfato ferroso por grama de amostra; mg GAE/g: miligramas de equivalentes de ácido gálico por grama de amostra

Fonte: Autor (2025)

O potencial antioxidante frente aos radicais DPPH• e ABTS+• foi determinado utilizando uma curva de calibração com soluções de Trolox (Figura 16).

Entre as amostras avaliadas, o EAT e Np-EAT apresentaram baixa capacidade de inibição dos radicais DPPH• e ABTS+•, em relação ao padrão. Somente OBT apresentou ação redutora, com valores de $643,80 \pm 0,064 \mu\text{M TE}$ e $1113,33 \pm 0,010 \mu\text{M TE}$ para DPPH• e ABTS+•, respectivamente, sendo a resposta mais expressiva neste último. A atividade antioxidante foi expressa em micromolares equivalentes de Trolox ($\mu\text{M TE}$), permitindo a comparação com o padrão antioxidante. Nesse contexto, observa-se que o OBT apresentou valores próximos à metade da concentração máxima avaliada para o radical DPPH• e superiores para o radical ABTS+•, enquanto o EAT apresentou atividade próxima ao menor valor testado. Por sua vez, a nanopartícula (NP-EAT) apresentou atividade antioxidante pouco expressiva nas condições avaliadas

Figura - 16 Curva padrão de Trolox. (A) método DPPH•. (B) método ABTS+•



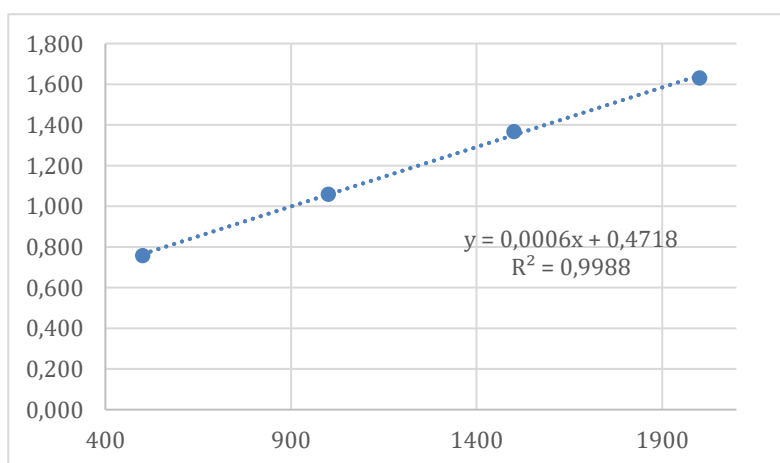
Fonte: Autor (2025)

Esses dados podem ser corroborados por Cunha et al. (2017), avaliando a atividade antioxidante de extratos da polpa de *Astrocaryum vulgare* e de rações enriquecidas com estes, detectaram potencial redutor frente ao radical DPPH• com percentual de 36,63 e 84,14 para os extratos aquoso e metanólico, respectivamente. Viera et al. (2017) observaram o mesmo efeito ao avaliar polpas em diferentes períodos e tipos de armazenamento, detectando em polpas recém-coletadas a concentração de extrato capaz de sequestrar 50% dos radicais livres o valor de 228,9 µg/ml.

O potencial antioxidante do tucumã foi também identificado nos estudos realizados por Pessoa (2016), com os extratos etanólico, aquoso e acetônico provenientes da amêndoa do fruto. Todos os extratos foram ativos frente aos radicais DPPH• e ABTS+•, sendo que o extrato etanólico apresentou maior capacidade com EC_{50} : $66,38 \pm 5,33 \mu\text{g.mL}^{-1}$; TEAC: $43,07 \pm 1,96 \mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$, seguidos dos extratos aquoso (EC_{50} : $2074,09 \pm 264,88 \mu\text{g.mL}^{-1}$; TEAC: $7,54 \pm 1,25 \mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$) e acetônico (EC_{50} : $3443,19 \pm 271,36 \mu\text{g.mL}^{-1}$; TEAC: $7,03 \pm 0,44 \mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$).

A capacidade de redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} foi determinada por meio da construção de uma curva de calibração com soluções de sulfato ferroso (Figura 17).

Figura 17 - Curva padrão de sulfato ferroso (método FRAP)



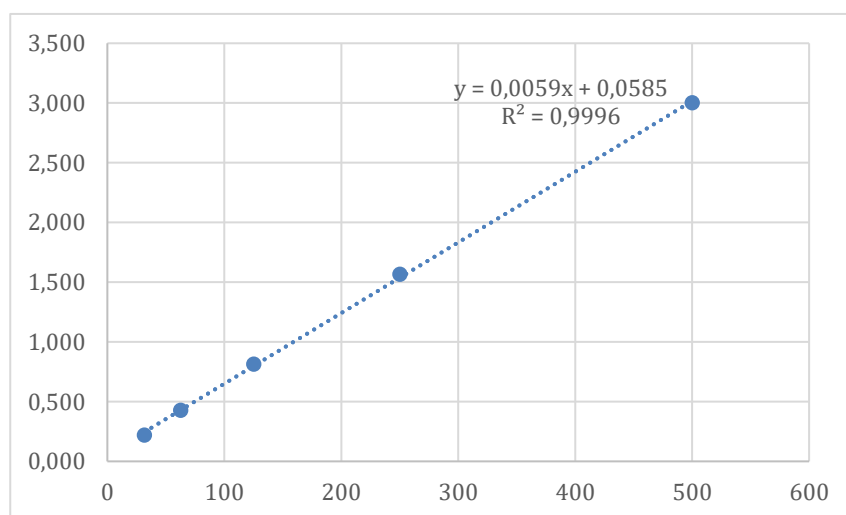
Fonte: Autor (2025)

Os dados estão representados em micromolares de equivalente de sulfato ferroso ($\mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$), no qual foi observado em EAT o maior poder de redução com valor de $767,56 \pm 0,029 \mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$, enquanto o OBT e Np-EAT apresentaram valores de $428,11 \pm 0,040 \mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$ e $240,89 \pm 0,031 \mu\text{M Fe}^{2+}/\text{g}$, respectivamente, indicando baixa capacidade redutora.

Mesmo com o crescente interesse científico, estudos sobre a atividade antioxidante de *A. vulgare* em diferentes metodologias são escassos. Na literatura, não foram encontrados relatos de análises frente aos métodos utilizados neste estudo do óleo do bicho-do-tucumã e com nanopartículas, nem avaliações com extratos pelo método FRAP.

O conteúdo de fenólicos totais do extrato, determinado a partir da curva de calibração utilizando o ácido gálico como padrão (Figura 18), apresentou teor de $26,87 \pm 0,009$ mg GAE/g. Pessoa (2016) quantificou os fenólicos totais de extratos provenientes da amêndoa do tucumã observando elevados teores no extrato etanólico ($533,60 \pm 16,81$ mg EAG.100 g⁻¹), seguido dos extratos acetônico ($139,15 \pm 3,67$ mg EAG.100 g⁻¹) e aquoso ($57,20 \pm 0,89$ mg EAG.100 g⁻¹). Contudo, estes valores são menores ao obtido neste estudo, evidenciando que o extrato aquoso analisado apresenta maior concentração de compostos fenólicos.

Figura 18 - Curva Padrão de Ácido Gálico



Fonte: Autor (2025)

Entre os principais grupos químicos isolados do tucumã (*A. aculeatum* e *A. vulgare* Mart.) estão os compostos fenólicos, como Ácido gálico, Ácido cafeico, Ácido clorogênico, Ácido elágico, Antocianina, Kaempferol, Quercetina e Rutina (Casas et al., 2022), o que justifica o elevado teor detectado.

Pessoa (2016) relaciona o teor de fenólicos totais com a atividade antioxidante do extrato etanólico do tucumã, no entanto, esta correlação não pôde ser evidenciada nas amostras analisadas. Os resultados apontam que OBT, também apresentou atividade antioxidante significativa, que podem ser justificadas também pela presença de carotenoides. Rosso (2007) afirma que os principais carotenoides encontrados no

tucumã são: all-trans- β -caroteno, all-trans- α -caroteno, all-trans- β -criptoxantina, 13-cis- β -caroteno, all-trans- α -criptoxantina, zeinoxantina, all-trans-luteína, cis- γ -caroteno 3, 15-cis- β -caroteno, 5, 8-epoxi- β -caroteno, cis- β -zeacaroteno 2, cis- β -zeacaroteno 1, all-trans- δ -caroteno, all-trans- β -zeacaroteno, all-trans- γ -caroteno, all-trans-neoxantina, cis-violaxantina, cis-neoxantina, all-trans-zeaxantina, all-trans- ζ -caroteno, cisluteína. Esta classe é apontada com alto poder antioxidante.

Vale ressaltar que, apesar de não serem os componentes majoritários do tucumã (são considerados metabólitos secundários), visto que já é claro na literatura que a composição química do fruto do tucumã encontra-se, em média, 46% de umidade, 5% de proteínas, 30% de lipídios, 9% de fibras e 3% em minerais (Guedes et al., 2005; Moraes e Dias, 2001), os flavonóides (outro grupo pertencente ao grupo dos polifenóis), possuem um ou mais núcleos aromáticos contendo substituintes hidroxilados e/ou seus derivados funcionais. As substâncias com núcleos fenólicos destacam-se como antioxidantes, pois são eficientes captadores de espécies reativas de oxigênio (EROs), além de reduzirem e quelarem íons férricos que catalisam a peroxidação lipídica (Nahar & Sarker, 2005).

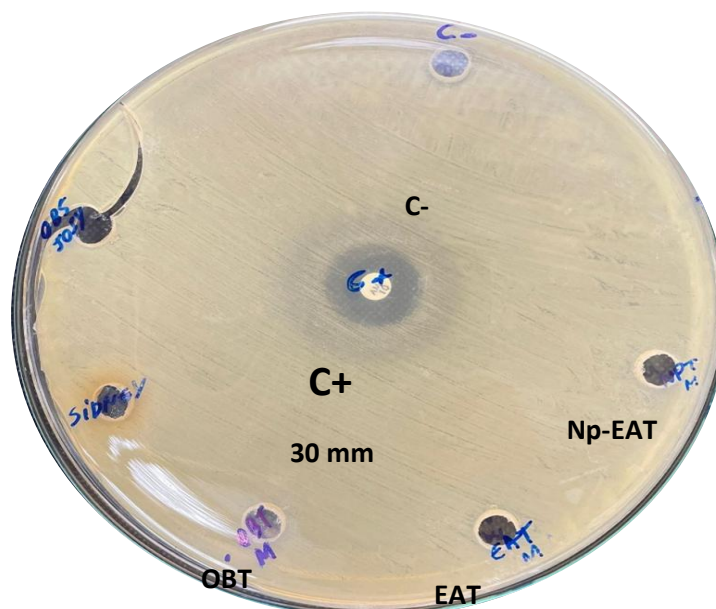
Portanto, por apresentarem em sua composição compostos fenólicos e/ou constituintes hidroxilados, tanto o EAT quanto o OBT apresentaram uma capacidade antioxidante relevante. Em contraste, as NPs, apesar de terem sido sintetizadas a partir do extrato, apresentaram capacidade muito aquém dos outros compostos analisados, isso provavelmente ocorreu devido ao próprio caminho reacional das nanopartículas. No entanto, devido a quantidade reduzida de trabalhos envolvendo atividade antioxidante como o óleo do bicho-do-tucumã e com nanopartículas, não é possível realizar um comparativo com outros trabalhos acadêmicos para um melhor resultado.

5.5. Atividade antimicrobiana

O método de difusão em Ágar-ágar foi utilizado para determinar a capacidade inibitória do extrato aquoso, da nanopartícula de prata e do óleo do bicho-do-tucumã frente a diferentes microrganismos. Após o período de incubação foi constatado que em nenhuma das amostras testadas houve formação de halos de inibição, evidenciando atividade negativa frente a todos os microrganismos testados. A confiabilidade dos testes foi confirmada pela formação halos nos controles positivos, com valores esperados, e ausência de halos no negativo. No ensaio realizado com a

bactéria *Staphylococcus aureus* (Figura 19), por exemplo, observou-se a formação de um halo de inibição com diâmetro de 30mm no controle positivo, indicando a alta atividade da amoxicilina, enquanto não foram observados no controle negativo e nas amostras testadas.

Figura 19 - Ensaio de difusão em ágar com *Staphylococcus aureus*



Fonte: Autor (2025)

Embora não tenha sido observada atividade antimicrobiana das amostras testadas, a literatura descreve efeitos inibitórios em AgNPs, sintetizadas a partir de extratos da polpa de *Astrocaryum aculeatum*, outra espécie do mesmo gênero. Santos (2022) detectou atividade antimicrobiana em nanopartículas de prata sintetizadas com extrato vegetal a 1,5%, pH 9 e temperatura de 40 °C, frente a *E. coli* com halo de inibição de 1,2 cm. Estudos conduzidos por Jobin et al. (2013) com extrato etanólico da polpa e casca do fruto de *A. aculeatum* demonstraram resultados positivos para *E. faecalis* (ATCC 29212), *B. cereus* (ATCC 9634), *L. monocytogenes* (ATCC 7644) e *C. albicans* (ATCC 90028).

As diferenças observadas entre os resultados obtidos e os estudos relatados podem ser atribuídas a dois fatores: a variabilidade genética entre as linhagens do mesmo gênero, que pode afetar a sensibilidade à antimicrobianos e as diferenças dos

constituintes nas amostras, que podem interferir na atividade antimicrobiana (Lubian, 2010).

5.6. Efeito alelopático

Para o bioensaio alelopático foi utilizado 8 tratamentos, na Tabela 4 encontra-se os valores médios de germinação (G%), tempo médio de germinação (TMG), velocidade de germinação (VG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento radicular (CR) e comprimento do hipocótilo (CH) de sementes de alface (*Lactuca sativa*) submetidas aos diferentes tratamentos: água (T0), extrato aquoso de tucumã (T1), solução de nitrato de prata (T2), tensoativo (T3), nanopartículas em concentrações de 0,1%, 0,5% e 1% (T4, T5 e T6, respectivamente) e óleo do bicho-do-tucumã associado ao tensoativo (T7).

Tabela 4 - Resultados ensaio alelopático.

TRATAMENTOS	G* (%)	TMG	VG	IVG *	CR (mm)	CH (mm)
T0 (água)	8.03 b	1.84 c	0.54 a	3.47 b	20.43 bc	4.05 bc
T1 (Extrato aquoso de tucumã)	9.10 ab	1.74 bc	0.57 ab	3.95 ab	10.83 d	2.73 d
T2 (solução de nitrato de prata)	9.52 a	1.45 ab	0.70 bc	4.47 a	28.22 ab	5.65 a
T3 (tensoativo)	8.82 ab	1.35 a	0.74 c	4.17 ab	-----	-----
T4 (nanopartículas em concentrações 0,1%)	9.58 a	1.40 ab	0.71 bc	4.47 a	17.06 cd	3.21 cd
T5 (nanopartículas em concentrações 0,5%)	9.74 a	1.61 abc	0.62 abc	4.29 a	18.88 cd	4.81 ab
T6 (nanopartículas em concentrações 1%)	9.69 a	1.44 ab	0.695 abc	4.52 a	23.19 bcd	3.60 cd
T7 (óleo do bicho-do-tucumã associado ao tensoativo)	9.53 a	1.43 ab	0.69 abc	4.37 a	31.19 a	3.85 bcd
CV	6.50	10,78	10.47	8.03	18.10	13.08
Valor de p	0.00	0.10	0.49	0.034	0.20	0.23

Fonte: Autor (2025)

Os dados referentes à porcentagem de germinação (G) foram apresentados em escala decimal, de modo que cada unidade corresponde a 10% de germinação. Assim, valores como 8,03 e 9,74 equivalem, respectivamente, a 80,3% e 97,4% de sementes germinadas. Essa forma de apresentação foi adotada para facilitar a análise e a visualização dos resultados, mantendo-se a proporcionalidade dos dados originais.

5.6.1 Germinação e velocidade

Nos testes de laboratório a porcentagem de germinação de sementes corresponde à proporção do número de sementes que produziu plântulas classificadas como normais, em condições e períodos especificados (Brasil, 2009). Para esse ensaio, a porcentagem de germinação (G%) variou entre 80,3% (T0) e 97,4% (T5). Pode-se observar que todos os tratamentos apresentaram maior percentual de germinação quando comparados ao tratamento com água (T0). Esse resultado sugere que todos os tratamentos testados podem atuar como indutores fisiológicos, sem comprometer a germinação.

A variação do TMG ficou entre 1,35 (T3 - tensoativo) e 1,84 dias (T0 - água), indicando que todos os tratamentos proporcionaram germinação mais rápida quando comparadas a testemunha (T0). Esse resultado é corroborado pelos valores de velocidade de germinação (VG), no qual os tratamentos com o tensoativo, nanopartículas em concentrações 0,1% e solução de nitrato de prata apresentaram maior (VG), sendo respectivamente 0,74; 0,71 e 0,70 e T0 com menor velocidade (0,54).

A confirmação dessa evidência pode ser observada no índice de velocidade de germinação (IVG), no qual teve como menor índice T0 (3,47) e os maiores para nanopartículas em concentrações 1% (4,52), nanopartículas em concentrações 0,1% (4,47) e solução de nitrato de prata (4,47).

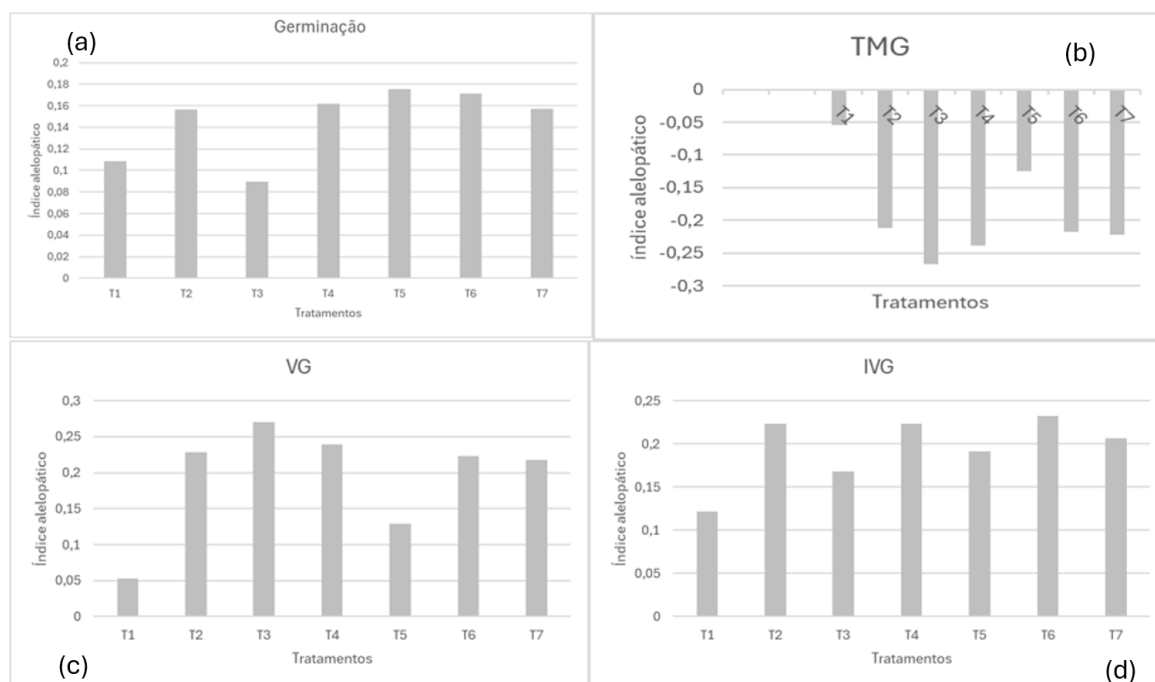
Para o extrato aquoso de tucumã, pode-se implicar que, por ser rico em metabólitos secundários, pode ter favorecido a germinação inicial, uma vez que fenóis e flavonoides são conhecidos por atuar em processos de defesa e regulação fisiológica das plantas (Macías et al., 2019). Em relação as nanopartículas, estudos prévios afirmam que baixas concentrações de Nps (cerca de 1ppm), quando presente

no ecossistema não apresentam efeitos adversos evidentes, onde, em alguns casos apresentaram atividades tóxicas leve ou nenhuma (Budhani, 2019). Também se destaca que a presença de nanopartículas de prata ajudou a reduzir o estresse oxidativo em alguns tipos de cultivos. Espécies reativas de oxigênio (EROs), que incluem H_2O_2 (peróxido de hidrogênio), radical O_2^- (ânion superóxido), radicais OH (hidroxila) e O_2 (oxigênio), são um dos fatores que levam ao estresse salino (Saritha, *et. Al*, 2022).

Quando observamos o IVG somente em Nps, observa-se que, para a menor concentração analisada, um índice menor, ou seja, uma maior velocidade de germinação, isso confirma o que Porto e colaboradores (2019) observaram em seu trabalho, no qual foi avaliado o potencial fitotóxico de nanopartículas metálicas sobre sementes de alface submetidas em diferentes concentrações, sendo que as menores concentrações atuaram na germinação das sementes das sementes.

Esses dados podem ser melhor observados quando analisamos a figura 20, onde mostra a resposta ao tratamento (T1 ao T7) quando relacionado ao controle (T0), conforme relatado por Williamson (1988), indicando um índice alelopático positivo quando há o estímulo do tratamento e índice alelopático negativo quando houve inibição.

Figura 20 - Índices alelopático para % de germinação, TMG, VG e IVG.



Fonte: Autor (2025)

Destacam-se na figura 20 (a) os maiores índices de germinação se apresentam para os tratamentos T4, T5 e T6, sendo estes para soluções com nanopartículas de prata de concentração 0,1%, 0,5% e 1% respectivamente, indicando um efeito alelopático estimulante, sendo comparável ao resultado de Ghavam (2018), no qual mostra que nanopartículas de prata em até 200mM podem aumentar o índice de germinação, aumentar o vigor das sementes e o comprimento do broto.

Possivelmente a estimulação da germinação também pode ser influenciada devido a presença dos metabólitos presentes no extrato e também no óleo, pois, segundo Cheng & Cheng, (2015) ácidos graxos, flavonoides e outros possuem ação ativa na germinação das sementes.

5.6.2 Crescimento inicial das plântulas

O comprimento médio da radícula (raiz embrionária) das sementes é uma medida crucial na agricultura. Radículas mais longas indicam sementes mais vigorosas, levando a sistemas radiculares fortes e melhor estabelecimento e crescimento das mudas. Ademais, radículas mais longas se correlacionam com maiores taxas de germinação e podem acessar camadas mais profundas do solo com mais umidade e nutrientes disponíveis, melhorando a resiliência do crescimento inicial. Rendimento da Cultura: O vigor e a saúde das mudas, indicados pelo comprimento da radícula, impactam diretamente o rendimento da cultura, com mudas mais vigorosas provavelmente produzindo rendimentos mais altos. Portanto, medir o comprimento da radícula é um método padrão em testes de qualidade de sementes, ajudando a selecionar as melhores sementes para plantio (Flores, 2025).

O comprimento radicular (CR) apresentou grande variação, sendo maior para T7 - óleo do bicho-do-tucumã associado ao tensoativo (31,19 mm) e significativamente menor em T1 - Extrato aquoso de tucumã (10,83 mm). A partir dessa análise observa-se que o óleo do bicho-do-tucumã proporcionou maior estímulo do crescimento das radículas, provavelmente devido a presença de ácidos graxos atuando como bioestimuladores (Cheng & Cheng, 2015). Por outro lado, observa-se que, apesar de ocorrer a germinação das sementes, no tratamento T3 – tensoativo, onde não houve crescimento de plântulas, sendo evidenciado na figura 21, por isso não tem registros na tabela desse tratamento. Devido a essa observação, pode-se supor que o óleo do bicho-do-tucumã participou ativamente no crescimento das plântulas.

Figura 21 – Plântulas não desenvolvidas

Fonte: Autor (2025)

No comprimento do hipocótilo (CH), em relação ao tratamento T5 (nanopartícula 0,5%), Vieira (2023) observou em seus estudos que a utilização de nanopartículas na cultura da alface pode ser benéfica no sentido de possibilitar a produção de plantas saudáveis sem a incidência de doenças. Esse resultado corrobora com Furlaneto (2011), no qual afirma que o uso de nanopartículas na agricultura, é uma importante inovação tecnológica e utilizada na produção de nanofertilizantes, nanocidas, pesticidas encapsulados em nanopartículas de liberação lenta e que consequentemente melhoram a produtividade e qualidade dos produtos.

Esses resultados demonstram que o extrato aquoso do tucumã, o óleo do bicho-do-tucumã e as nanopartículas de prata sintetizadas não exerceram efeitos fitotóxicos sobre a germinação e o crescimento inicial das plântulas de alface. Pelo contrário, observou-se um incremento em parâmetros relacionados ao vigor e ao desenvolvimento inicial das plântulas, evidenciando um possível efeito bioestimulador. Sugerindo que o extrato, o óleo e as nanopartículas podem atuar favorecendo processos fisiológicos associados à germinação e ao desenvolvimento inicial das plântulas. Além disso, a ausência de efeitos inibitórios indica que as concentrações empregadas não atingiram níveis tóxicos para as sementes de alface, permitindo que os metabólitos secundários e os nutrientes presentes nos tratamentos contribuíssem positivamente para o desenvolvimento vegetal. Dessa forma, os resultados apontam para o potencial uso dessas formulações não apenas como agentes de baixa toxicidade ambiental, mas também como promotores do crescimento vegetal em estágios iniciais de desenvolvimento.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A síntese de nanopartículas de prata mediada pelo extrato aquoso de tucumã foi obtida em condições específicas de pH 9 e temperatura de 70 °C, enquanto variações de pH e temperatura influenciaram negativamente a formação e o rendimento das nanopartículas. A caracterização do óleo do bicho-do-tucumã revelou a predominância de ácidos graxos, além da presença de monoterpenos e sesquiterpenos de reconhecido interesse farmacológico, o que sustenta seu potencial terapêutico.

Nos ensaios antioxidantes, o óleo apresentou maior atividade frente aos radicais DPPH•• e ABTS+•••+, enquanto o extrato aquoso demonstrou maior poder redutor no método FRAP. As nanopartículas exibiram baixa atividade antioxidante em todos os ensaios. Nos testes alelopáticos, o extrato aquoso, o óleo e as nanopartículas não apresentaram efeitos fitotóxicos; ao contrário, estimularam a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas de alface, sugerindo possível aplicação como indutores fisiológicos em sistemas agrícolas.

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que o óleo do bicho-do-tucumã apresentou o maior potencial bioativo entre as amostras avaliadas, principalmente quanto à sua capacidade antioxidante, evidenciada pelos elevados percentuais de sequestro de radicais livres. Além disso, a ausência de efeitos fitotóxicos das amostras e a observação de respostas bioestimuladoras frente às sementes de alface reforçam seu potencial de aplicação em diferentes áreas biotecnológicas. Esses resultados evidenciam o valor agregado de um produto regional ainda pouco explorado cientificamente, indicando que as amostras são uma fonte promissora de compostos bioativos com potencial para futuras aplicações nas áreas farmacêutica, agrícola e ambiental.

7. REFERÊNCIA

AKHTAR, M. S.; PANWAR, J.; YUN, Y.-S. Biogenic synthesis of metallic nanoparticles by plant extracts. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 1, n. 6, p. 591-602, 2013.

ALBERNAZ, Vanessa Lima. **Síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de folhas de *Brosimum gaudichaudii*, caracterização fisicoquímica, morfológica e suas aplicações no desenvolvimento de um nanobiossensor eletroquímico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/16467>. Acesso em: 5 set. 2025.

ANTUNES, Fabiana; DAL'ACQUA, Nicolle; BERGMANN, Carlos; GIOVANELA, Marcelo. Síntese, caracterização e aplicação de nanopartículas de prata como agentes antimicrobianos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, p. 20-26, 2013. DOI: 10.4013/ete.2013.91.03.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. A capacidade de redução férrica do plasma (FRAP) como uma medida de “poder antioxidante”: o ensaio FRAP. **Bioquímica Analítica**, v. 239, n. 1, p. 70–76, 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399 p. ISBN 978-85-99851-70-8.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte**. Coradin, L.; Camillo, J.; Vieira, I. C. G. (eds.). Brasília, DF: MMA, 2022. 1452 p. (Série Biodiversidade, n. 53).

BUDHANI, S.; EGBOLUCHE, N. P.; ARSLAN, Z.; YU, H.; DENG, H. Phytotoxic effect of silver nanoparticles on seed germination and growth of terrestrial plants. **Journal of Environmental Science and Health, Part C: Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews**, v. 37, n. 4, p. 330-355, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10590501.2019.1676600>.

CASAS, Luana Lopes et al. Aspectos nutricionais, químicos e farmacológicos de Tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart.) Nutritional, chemical and pharmacological aspects of Tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer and *Astrocaryum vulgare* Mart.). **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 13667-13687, 2022.

CHENG, F.; CHENG, Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 2015. DOI: 10.3389/fpls.2015.01020.

CHOPRA, I. The increasing use of silver-based products as antimicrobial agents: a useful development or a cause for concern? **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 59, n. 4, p. 587–590, 2007. DOI: 10.1093/jac/dkm006.

CUNHA, Polliana Farias da; et al. DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE IN VITRO E IN VIVO DO TUCUM (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **Brazilian Journal of Surgery & Clinical Research**, v. 20, n. 2, 2017.

CYMERYS, M. Tucumã do Pará. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (ed.). *Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica*. Belém: **CIFOR; Imazon**, 2005. p. 209-214.

ELSHARKAWY, Eman. Allelopathy effects of silver nanoparticle synthesis by green method from *Pulicaria undulata*. **Annual Research & Review in Biology**, v. 32, n. 2, p. 1-9, 2019. DOI: 10.9734/arrb/2019/v32i230078.

FERREIRA, E. S. et al. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 427-433, 2008.

FERREIRA, Hadma; RANGEL, Maria. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, v. 32, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000700033.

Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 24 de setembro de 2025.

FLORES, Sulcimilena Mady. **Nanopartículas metálicas mediadas por extratos vegetais como possíveis agentes alelopático, antioxidante, larvicida e antimalárico**. 2025. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2025.

FURLANETO, F.P.B. Nanotechnology in the agricultural sector. **Pesquisa & Tecnologia, Centro-Oeste Paulista**, v.8, n.2, p.4, 2011.

GHAVAM, M. Effect of silver nanoparticles on seed germination and seedling growth in *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak under salinity stress. **Journal of Rangeland Science**, v. 8, n. 1, p. 93-103, 2018.

GUEDES, A. M. M.; FRANÇA, L. F.; CORRÊA, N. C. F. Caracterização física e físico-química da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*, Mart.). In: **CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DOS ALIMENTOS**, 2005, Campinas. Anais [...]. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência dos Alimentos, 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Amazônia Legal. Mapas Regionais. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html#:~:text=A%20Amaz%C3%B4nia%20Legal%20apresenta%20uma,%20C93%25%20do%20territ%C3%B3rio%20brasileiro>. Acesso em: 02 dez. 2023.

IRAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. **Green Chemistry**, v.13, p.2638-2650, 2011.

ISKAKOVA, Z. et al. Green synthesis of silver nanoparticles using *Circaea lutetiana* ethanolic extract: phytochemical profiling, characterization, and antimicrobial evaluation. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 12, p. 5505, 2025. DOI: 10.3390/ijms26125505.

JESUS, Gabriel Araújo et al. Caracterização socioeconômica e extração do "óleo de bicho" da larva *Speciomerus ruficornis* Germar no município de Soure, Marajó, Pará. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL EM CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO**, 1., 2022. *Nutrição nos ciclos da vida*. [S.l.]: Agron Food Academy, 2022. cap. 3. DOI: 10.53934/9786585062015-3

JOBIM, M.L.; SANTOS, R.C.V.; ALVES, C.F.S.; OLIVEIRA, R.M.; MOSTARDEIRO, C.P.; SAGRILLO, M.R.; SOUZA FILHO, O.C.; GARCIA, L.F.M.; MANICA CATTANI, M.F.; RIBEIRO, E.E.; CRUZ, I.B.M. Antimicrobial activity of Amazon *Astrocaryum aculeatum* extracts and its association to oxidative metabolism. **Microbiological Research**, v. 169, p. 314-23, 2013

JOSEPH, J. D.; ACKMAN, R. G. *Capillary column gas-chromatographic method for analysis of encapsulated fish oils and fish oil ethyl-esters—collaborative study*. **Journal of Aoac International**, v.75, n. 3, p. 488–506,1992.

KEAT, C. L.; AZIZ, A.; EID, A. M. et al. Biosynthesis of nanoparticles and silver nanoparticles. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 2, p. 47, 2015. DOI: 10.1186/s40643-015-0076-2.

KUMAR, Sanjay; KUMARI, Reshma; MISHRA, Shailja. Pharmacological properties and their medicinal uses of *Cinnamomum*: a review. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, v. 71, n. 12, p. 1735-1761, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/jphp.13173>.

LIMA, Lucas Peranovich et al. Ocorrência e usos do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) em comunidades ribeirinhas, quilombolas e de agricultores tradicionais no município de Irituia, Pará. **Amazônica - Revista de Antropologia**, v. 5, n. 3, p. 762-778, 2014. DOI: 10.18542/amazonica.v5i3.1604. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/amazonica/article/view/1604/2009>. Acesso em: 14 jun. 2025.

LUBIAN, C.T.; TEXEIRA, J.M.; LUND, R.G.; NASCENTE, P.S.; DEL PINO, F.A.B. Antifungal activity of the aqueous extract from *Arctium minus* (Hill) Bernh. (Asteraceae) on oral *Candida* species. **Rev. bras. Plantas med.**, v. 12, p. 157-162, 2010.

MACÍAS, F. A. et al. *Allelopathy: chemistry and mode of action of allelochemicals*. **Boca Raton: CRC Press**, 2019.

MATOS, K. A. N.; LIMA, D. P.; BARBOSA, A. P. P.; MERCADANTE, A. Z.; CHISTÉ, R. C. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are

by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MELO, Celso Pinto de; PIMENTA, Marcos. Nanociências e nanotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, n. 18, p. 9–21, ago. 2004.

MELO, Grasieli Beloni de. **Síntese verde e caracterização de nanopartículas de prata usando extrato aquoso de erva mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2015. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

MILLER, W.M.P.; CRUZ, F.G.G.; DAS CHAGAS, E.O; SILVA, A.F.; ASSANTE, R. T. Farinha do resíduo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) na alimentação de poedeiras. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v.11, n.1, p.105-114, 2013.

MITTAL, A. K. et al. Biosynthesis of silver nanoparticles: elucidation of prospective mechanism and therapeutic potential. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 415, p. 39-47, 2014.

MOLYNEUX, P. The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH•) for estimating antioxidant activity. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 26, p. 211–219, 2004.

MONTEIRO, Ariadine J. A.; FERREIRA, Jaqueline R.; PIEDADE, Kamilla da C.; MARQUES, Richelly da S.; JERÔNIMO, Lucas B.; BARRETO, Igor Alexandre R.; SANTIAGO, Johan C. C. Potencial terapêutico do óleo-de-bicho do tucumã: uma revisão sobre a composição química, as propriedades medicinais e perspectivas futuras. In: **63º Congresso Brasileiro de Química**, 2024, Salvador, BA. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2024.

NAHAR, L.; SARKER, S. D. Chenoalbuside: an antioxidant phenolic glycoside from the seeds of *Chenopodium album* L. (Chenopodiaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, p. 279-282, 2005.

NAIKOO, G. et al. Bioinspired and green synthesis of nanoparticles from plant extracts with antiviral and antimicrobial properties: a critical review. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 25, n. 9, 2021.

OLIVEIRA, M. S. P.; COUTURIER, G.; BESERRA, P. Biologia da polinização da palmeira Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **Acta Botanica Brasilica**, v. 17, n. 3, p. 343-353, 2003.

OLIVEIRA, Maria do Socorro Padilha de; OLIVEIRA, Natália Padilha de; PEDROSO, Augusto José Silva; ABREU, Laura Figueiredo; NASCIMENTO, Walnice Maria Oliveira do *Astrocaryum aculeatum* e *A. vulgare*: tucumã. In: CORADIN, Lucia; CAMILLO, José; VIEIRA, Iolanda Cristina Guedes (orgs.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2022. p. 1137-1155. (Série Biodiversidade, 53).

OLIVEIRA, Stéfani Ferreira de; MOURA NETO, José Pereira de; SILVA, Keyla Emanuelle Ramos da. Uma revisão sobre a morfoanatomia e as propriedades farmacológicas das espécies *Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 3, p. CS18-CS28, 2018.

PAVIA, D. L. et al. **Introdução à Espectroscopia**. Tradução da 4ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 365-398.

PEREIRA, Juliane do Socorro Mendonça et al. **Extração do óleo do bicho do caroço do tucumã (*Speciomerus ruficornis* Germar): descrição do sistema sociotécnico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo do Meio Ambiente, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia, Belém, 2021.

PESSOA, R. A. **Composição nutricional e bioativa da amêndoa de tucum (*Astrocaryum vulgare*)**. 2016. 94p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Alimentos e Nutrição, Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2016.

PIRES, R. Modelagem de perfis de liberação de fármacos a partir de nanocarregadores. **Disciplinarium Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, v. 14, n. 1, p. 99-107, 2013.

PORTO, AS; BEZERRA, MGF; FABIANO, FA; SANTOS, JG Fitotoxicidade por nanopartículas de Cobre e Zinco para diferentes tratamentos na germinação de sementes de *Lactuca sativa*. *Natureza on-line*. 2019. Disponível em: http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/NOL20180601____.pdf. Acesso em: 13/09/2025.

RAO, K. J.; PARIA, S. Green synthesis of silver nanoparticles from aqueous *Aegle marmelos* leaf extract. **Materials Research Bulletin**, v. 48, n. 2, p. 628-634, 2013.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS+• radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231–1237, 1999.

ROCHA, T. T. et al. Potencial terapêutico e composição química do óleo de bicho-do-tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) utilizado na medicina popular. *Scientia Plena*, v. 10, n. 11, 2014. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/2087>. Acesso em: 5 set. 2025.

ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA–MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p. 5062–5072, 2007.

RUFINO, M. S. M. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP)**. Fortaleza: Embrapa, 2006. (Comunicado técnico, 125).

SANTOS, Kimberly Luciana Beira-mar dos. **Avaliação do potencial de aplicação industrial de subprodutos da cadeia produtiva das palmeiras amazônicas Açaí (*Euterpe oleracea*), Tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) e Tucumã do Pará (*Astrocaryum vulgare*)**. 2021. 69 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.

SANTOS, Sidney Souza dos. **Síntese de nanopartículas de prata mediadas por extratos vegetais de *Astrocaryum aculeatum***. 2022. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara (AM), 2022.

SARITHA, Golla Nagaraju Gari; ANJU, Thattantavide; KUMAR, Ajay. Nanotechnology - Big impact: How nanotechnology is changing the future of agriculture? **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, p. 100457, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100457>.

SATYAL, P.; PAUDEL, P.; KAFLE, A.; POKHAREL, S. K.; LAMICHHANE, B.; DOSOKY, N. S.; MORIARITY, D. M.; SETZER, W. N. Bioactivities of volatile components from Nepalese Artemisia species. **Natural Product Communications**, v. 7, p. 1651-1658, 2012.

SHANLEY, P. **Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2005.

SHAIKH, W. A.; CHAKRABORTY, S.; OWENS, G.; ISLAM, R. U. A review of the phytochemical mediated synthesis of AgNP (silver nanoparticle): the wonder particle of the past decade. **Applied Nanoscience**, v. 11, n. 11, p. 2625-2660, 2021. DOI: [10.1007/s13204-021-02135-5](https://doi.org/10.1007/s13204-021-02135-5).

SILVA, Jéssica I. M.; SOUZA, Maria C. S.; SOARES, Maria L. C.; COSTA, Reinaldo C.; NUNEZ, Cecília V. Óleos essenciais das raízes das espécies de *Philodendron maximum*, *P. solimoesense* e *P. goeldii* (Araceae). **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 77-93, jan./mar. 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/2446-4775.20160008>.

SILVA, D. A. C. **Potencialidade do tucumã (*Astocaryum vulgare* Mart.) no município de Irituia-Pa: um novo produto para cooperativa d'Irituia**. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, 2019.

SILVA, Ingrid Reis da. **Compostos antimicrobianos produzidos por *Streptomyces* spp.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)— Universidade Federal do Amazonas, 2012.

SOUZA, Fábio Geraldo de; LIMA, Renato Abreu. A importância da família Arecaceae para a região Norte. **Educa Amazônia**, Manaus, v. 23, n. 2, p. 100-110, jul./dez. 2019.

SOUZA, V.C. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. Vinicius castro Souza, Harri Lorenzi. 3.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2012.

SOUSA, M. L. R. de; ALBUQUERQUE, I. R. de; MOURA, L. P. R.; ROCHA, B. S. da; NOGUEIRA, J. da C.; FREITAS, A. D. G. de. Potencial antimicrobiano dos extratos metanólicos das plantas *Astrocaryum aculeatum* (tucumã) e *Turnera subulata* (flor do Guarujá) frente a isolados de bactérias patogênicas. **Revista Valore**, v. 8, 2023. e-8065. DOI: 10.22408/rev8020231013e-8065

SWAMY, Mallappa Kumara; AKHTAR, Mohd. Sayeed; MOHANTY, Sudipta Kumar; SINNIHA, Uma Rani. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their *in vitro* antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 151, p. 939-944, 2015. DOI: 10.1016/j.saa.2015.07.009.

TAPUDIMA, M. A. C. **Síntese verde de nanopartícula de prata mediada por extratos vegetais de *Astrocaryum aculeatum* (Tucumã)**. 2022. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Química Industrial – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara (AM), 2022.

VILLACHICA, H. Frutales y hortalizas promisorias de la Amazonía: tratado de cooperación amazónica. Lima: Secretaria Pro-Tempore, Tratado de Cooperación Amazónica, 1996. 367p.

WILLIAMSON, G. B.; RICHARDSON, D. BIOASSAYS FOR ALLELOPATHY: measuring treatment responses with independent controls. **Journal of Chemical Ecology**, v. 14, n. 1, p. 181-187, 1988.

YUYAMA, L. K. O. et al. Processamento e avaliação da vida de prateleira do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) desidratado e pulverizado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 408-412, 2008. doi:10.1590/S0101-20612008000200021.

Zhang, J. Z.; NOGUEZ, C. Plasmonic optical properties and applications of metal nanostructures. **Plasmonics**, v. 3, n. 4, p. 127–150, 2008. DOI: 10.1007/s11468-008-9066-y.