



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIOTECNOLOGIA**



VINICIUS SILVA BASTOS DE JESUS

**SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM USO DO
EXTRATO DE *GYMNEIA PLATANIFOLIA* E EFEITO
ANTIBACTERIANO CONTRA *ESCHERICHIA COLI* E
*STAPHYLOCOCCUS AUREUS***

Feira de Santana, BA

2025

VINÍCIUS SILVA BASTOS DE JESUS

**SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM USO DO
EXTRATO DE *GYMNEIA PLATANIFOLIA* E EFEITO
ANTIBACTERIANO CONTRA *ESCHERICHIA COLI* E
*STAPHYLOCOCCUS AUREUS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.
Orientador: Prof. Dr. Edrian Mania.
Coorientação: Profª. Dra. Michelle Falcão.

Feira de Santana, Ba

2025

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteadó – UEFS

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteadó – SISBI UEFS

- J56 Jesus, Vinícius Silva Bastos de
Síntese de nanopartículas de prata com uso do extrato de *Gymneia platanifolia* e efeito antibacteriano contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* / Vinícius Silva Bastos de Jesus. – 2025.
70 f.: il.
- Orientadora: Edrian Mania.
Coorientadora: Michelle Falcão.
Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2025.
1. *Gymneia platanifolia* – extrato. 2. Nanopartículas de prata (AgNps).
3. Atividade antibacteriana. 4. Atividade antimicrobiana. 5. Síntese verde.
6. Nanotecnologia. I. Título. II. Mani, Edrian, orient. III. Falcão, Michelle, coorient. IV. Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia. V. Universidade Estadual de Feira de Santana.
- CDU 582.929.4:606:615.281.9

Luis Ricardo Andrade da Silva - Bibliotecário - CRB-5/1790

FOLHA DE APROVAÇÃO

VINÍCIUS SILVA BASTOS DE JESUS

**SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM USO DO EXTRATO DE
GYMNEIA PLATANIFOLIA E EFEITO ANTIBACTERIANO CONTRA
ESCHERICHIA COLI E *STAPHYLOCOCCUS AUREUS***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, da Universidade Estadual de Feira de Santana como requisito para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia.

Feira de Santana, Bahia, 06 de novembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 **EDRIAN MANIA**
Data: 12/11/2025 07:44:56-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Orientador: Prof. Dr. **Edrian Mania**
Universidade Estadual de Feira de Santana

Documento assinado digitalmente
 **SUSANE ETERNA LEITE MEDEIROS**
Data: 11/11/2025 17:08:38-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membra: Prof^a. Dr^a. **Susane Eterna Leite Medeiros**
Universidade Estadual de Feira de Santana

Documento assinado digitalmente
 **PAULO JOSE LIMA JUIZ**
Data: 11/11/2025 08:56:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Membro: Prof. Dr. **Paulo José Lima Juiz**
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

À minha irmã Vitória, ao meu irmão Victor, meu pai
Mário e à minha mãe Wanderléa.

AGRADECIMENTOS

Durante o processo de mestrado, aprendi o significado do termo “dependência epistêmica”, o qual entendo como a necessidade constante de troca de conhecimentos entre pessoas que compõem um processo acadêmico interdisciplinar. Dessa forma, minha pesquisa contou com o conselho de excelentes pesquisadores, que enriqueceram todos os âmbitos de discussão. Portanto, agradeço ao orientador Edrian Mania, à coorientadora Michelle Falcão, às professoras Soraya Trindade e Angélica Lucchese, à doutoranda Andrezza e toda equipe discente do LENS.

Agradeço, também, aos meus familiares e amigos, todos aqueles que me conhecem intimamente e ainda escolhem estar comigo. Existe uma colaboração imensa e contínua de todos vocês em minha formação. Agradeço ao apoio dado a mim nessa fase final de mestrado, em especial, à minha mãe Wanderléa, meus irmãos Victor e Vitória, meus amigos Caio, Carol e meu primo Igor.

À Universidade Estadual de Feira de Santana, de onde sai graduado e fui, mais uma vez, bem recebido para fase de Pós-Graduação, com toda sua estrutura e equipe. Tenho gratidão por fazer parte da comunidade acadêmica de uma das maiores e mais importantes universidades da Bahia.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Learn a lesson without pain is meaningless...”
(Fullmetal Alchemist)

RESUMO

A resistência antimicrobiana (RAM) emergiu como um grave problema de saúde pública global causado pelo uso indevido de medicamentos, o que tem resultado no aumento da morbidade, com expectativas alarmantes, caso não existam medidas eficazes para controlar este distúrbio. Em contraponto a essa desordem, as nanopartículas de prata (AgNps) são capazes de atuar como antimicrobianos contra fungos e bactérias, carregando princípios ativos ou agindo isoladamente contra estes microrganismos. Essas AgNps podem ser sintetizadas de diversas maneiras, inclusive podendo ser utilizados compostos biológicos, obtidos através de plantas, visando que o processo seja mais ecológico. O objetivo deste trabalho foi sintetizar AgNps com extrato da planta *Gymneia platanifolia* (Mart. ex Benth.) Harley & J.F.B. Pastore, para que pudessem ser testadas *in vitro* quanto à inibição bacteriana. A formação de nanopartículas foi verificada por Espectroscopia de Absorção Molecular na Região do ultravioleta e visível (Espectroscopia UV-vis) com pico de absorção em 410nm e microscopia eletrônica de transmissão de alta resolução (HR-TEM) indicando estrutura cúbica de face centrada (FCC). Estes foram caracterizados por HR-TEM com uma distância interplanar de 0,236 nm na direção $\langle -1-2-1 \rangle$; 79,88 nm de comprimento hidrodinâmico e -46,92 mV de Potencial Zeta. Identificou-se capacidade inibitória das AgNps contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Portanto, o uso de AgNps é promissor para o desenvolvimento de inibidores microbianos nos próximos anos.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Inibição Bacteriana. Síntese Verde.

ABSTRACT

Antimicrobial resistance (AMR) has emerged as a serious global public health problem caused by the misuse of drugs, which has resulted in increased morbidity, with frightening expectations if there are no effective measures to control this disorder. In contrast to this disorder, silver nanoparticles (AgNps) are capable of acting as antimicrobials against fungi and bacteria, carrying active principles or acting alone against these microorganisms. These AgNps can be synthesized in several ways, including using biological compounds such as microorganisms and plants, aiming for a more environmentally friendly process. The objective of this work was to synthesize AgNps with extract of the plant *Gymneia platanifolia* (Mart. ex Benth.) Harley & J.F.B. Pastore, so that they could be tested in vitro for bacterial inhibition. The formation of nanoparticles was verified by Ultraviolet–Visible Molecular Absorption Spectroscopy with absorption peak at 410nm and high-resolution transmission electron microscopy (HR-TEM) indicating *face-centred cubic* structure. These were characterized by HR-TEM with an interplanar distance of 0.236 nm in the $\langle -1-2-1 \rangle$ direction; 79.88 nm of hydrodynamic length and -46.92 mV of Zeta Potential. Inhibitory capacity of AgNps against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* was identified. Therefore, the use of AgNps is promising for drug development in the coming years.

Keywords: Nanotechnology. Bacterial Inhibition. Green Synthesis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Nanopartículas de prata observadas em microscopia eletrônica de transmissão	19
Figura 02 – Tipos de nanopartículas	19
Figura 03 – Classes dos nanomateriais	21
Figura 04 – Imagens de nanopartículas de diferentes formatos	22
Figura 05 – Correlação entre a distância das condições de formação em relação ao equilíbrio termostático e as morfologias das Nps metálicas formadas	22
Figura 06 – Representação esquemática das Abordagens <i>Bottom-up</i> e <i>top-down</i> para a síntese de Nps	23
Figura 07 – Ilustração da técnica de Espectroscopia UV-visível	27
Figura 08 – Ilustração da técnica de Espectroscopia UV-visível	
Figura 09 – Ilustração da estrutura do aparelho de Espectroscopia Eletrônica de Varredura	28
Figura 10 – Ilustração do aparelho de Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM)	29
Figura 11 – Representação da técnica de mensuração do Espelhamento Dinâmico de Luz	30
Figura 12 – Representação da definição de Potencial Zeta	31
Figura 13 – Esquema representativo do mecanismo de ação da inibição bacteriana por AgNps	34
Figura 14 – Espelho do Teste de CIM realizado através da microdiluição seriada das AgNps (rosa), Extrato aquoso da <i>Gymneia platanifolia</i> (marrom-claro), AgNO ₃ (prata) e controles (verde)	42
Figura 15 – Partes aéreas da planta <i>Gymneia platanifolia</i> coletadas no campus da Universidade Estadual de Feira de Santana	43
Figura 16 – Partes aéreas coletadas da planta em secagem natural (temperatura ambiente) em local fechado	44
Figura 17: Espectroscopia UV-visível das AgNps sintetizadas nas proporções 5:15, 10:10 e 15:5 entre o extrato de <i>Gymneia platanifolia</i> e solução de AgNO ₃	
Figura 18 – Espectroscopia UV-visível das AgNps sintetizadas utilizando extrato da planta em 0,5% e 1%	45
Figura 19 – Espectroscopias UV-visível das AgNps sintetizadas sob tempo de agitação de 0, 5 e 10 minutos	45
Figura 20 – Amostras das AgNps, sob iluminação natural, em ordem crescente de tempo de agitação dos reagentes da síntese extrato da planta <i>Gymneia platanifolia</i> e as AgNps agitadas por 5 min, 10 min	46

Figura 21 – Gráfico das espectroscopias UV-visível das AgNps sintetizadas utilizando extrato da planta em pHs de 9, 10 e 11	46
Figura 22 – Extrato da planta <i>Gymneia platanifolia</i> na concentração de 1%, Solução de AgNO ₃ e Solução de AgNps no momento da sua síntese	48
Figura 23 – Espectroscopia UV-vis das AgNps e extrato aquoso de <i>Gymneia platanifolia</i>	49
Figura 24 – (A) Potencial ZETA da superfície das AgNps. (B) Diâmetro Hidrodinâmico das Nps por DLS	50
Figura 25 – A) Microscopia Eletrônica de Transmissão de Alta Resolução da Nanopartícula de Prata sintetizada a partir do extrato da <i>Gymneia platanifolia</i> ; B) Histograma da distribuição de diâmetros de nanopartículas de prata; C) Microscopia Eletrônica de Transmissão de distribuição de nanopartículas de prata	51
Figura 26 – Difração de Elétrons de Área Seleccionada (SAED)	51
Figura 27 – Teste Concentração Inibitória Mínima da <i>Staphylococcus aureus</i>	53
Figura 28 – Teste de Concentração Bacteriana Máxima da <i>Staphylococcus aureus</i> nas concentrações de 214 µg/mL, 107 µg/mL, 53,5 µg/mL, 26,75 µg/mL, 13,375 µg/mL, respectivamente	53
Figura 29 – Teste de Concentração Inibitória Mínima da <i>Escherichia coli</i>	54
Figura 30 – Teste de Concentração Bacteriana Máxima da <i>Escherichia coli</i> nas concentrações de 214 µg/mL, 107 µg/mL, 53,5 µg/mL e 26,75 µg/mL, respectivamente	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Comparação da atividade antibacteriana entre os AgNps sintetizados, extrato vegetal de *Gymneia platanifolia* e solução AgNO₃ mostrada com base em CIM e CBM em µg/mL

54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ag	Prata
AgNO ₃	Nitrato de Prata
AgNps	Nanopartículas de Prata
ATP	Adenosina Trifosfato
ATR	Reflexão total atenuada
AuNps	Nanopartículas de Ouro
CBM	Concentração Bactericida Mínima
CIM	Concentração Inibitória Mínima
CTEM	Microscopia Eletrônica de Transmissão Convencional
DLS	Espelhamento Dinâmico de Luz
DNA	Ácido desoxirribonucleico
FCC	Cúbica de face centrada
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
HRTEM	High-resolution TEM
OMNps	Nanopartículas de Óxidos Metálicos
Nps	Nanopartículas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PZ	Potencial Zeta
RAM	Resistência Antimicrobiana
REM	Radiação Eletromagnética
RNA	Ácido Ribonucléico
SAED	Difração de Elétrons de Área Seleccionada
SEM	Microscopia Eletrônica de Varredura
SPR	Surface Plasmon Ressonance
STEM	Scanning TEM
UV	Ultravioleta
UV- vis	Ultravioleta visível
XRD	Difração de Raio-X
ZnNps	Nanopartículas de Zinco
ZnONps	Nanopartículas de Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	CONTEXTUALIZANDO O USO DE NANOMATERIAIS	19
2.2	NANOPARTÍCULAS	19
2.2.1	Síntese de nanopartículas.....	23
2.2.2	Síntese Biológica de nanopartículas.....	25
2.2.3	Caracterização das nanopartículas.....	27
2.2.4	Espectroscopia de Absorção no Ultravioleta-Visível.....	27
2.2.5	Microscopia Eletrônica de Varredura e Microscopia Eletrônica de Transmissão	29
2.2.6	Espelhamento Dinâmico de Luz e Potencial Zeta.....	31
2.3	ATIVIDADES ANTIMICROBIANA DAS NANOPARTÍCULAS	33
2.4	ATIVIDADES ANTIMICROBIANA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA	33
2.4.1	Mecanismo de Ação das Nanopartículas de Prata	34
2.4.2	Toxicidade das Nanopartículas de Prata.....	36
2.5	RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA	36
2.6	PLANTAS MEDICINAIS DO SEMIÁRIDO.....	37
2.6.1	<i>Gymneia platanifolia</i>	38
3	OBJETIVOS	40
3.1	OBJETIVO GERAL	40
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
4	MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1	COLETA E ARMAZENAMENTO DA PLANTA.....	41
4.2	OTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.....	43
4.2.1	Otimização de concentração de Extrato	43
4.2.2	Otimização do pH do extrato.....	43
4.2.3	Otimização do tempo de agitação.....	43
4.2.4	Otimização das proporções entre os reagentes e UV-Vis.....	43
4.3	SÍNTESE DAS AGNPS	43
4.4	ESPECTROSCOPIA UV-VIS	44
4.5	POTENCIAL ZETA E DLS.....	44
4.6	MICROSCOPIA ELETRÔNICA.....	44

4.7	ATIVIDADE ANTIMICROBIANA	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
5.1	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DA PROPORÇÃO DOS REAGENTES	47
		47
5.2	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO EXTRATO	48
5.3	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE AGITAÇÃO.....	48
5.4	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DO PH DO EXTRATO UTILIZADO COMO REAGENTE	50
5.5	RESULTADOS DA SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO DE GYMNEIA PLATANIFOLIA	52
5.6	RESULTADOS DE POTENCIAL ZETA	53
5.7	RESULTADOS DE MICROSCOPIAS ELETRÔNICAS	54
5.8	RESULTADOS DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....	56
6	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1 INTRODUÇÃO

Nanopartículas (Nps) são partículas de tamanho compreendido entre 1nm e 100nm em pelo menos uma de suas dimensões (Jean - Marie Teulon et al., 2018). Considera-se que a menor ou mais simples partícula para escala nanométrica tenha 1 bilionésimo do metro. Dessa forma, seu tamanho pode ser menor que de uma célula eucariótica ou procariótica e semelhante a de um anticorpo ou vírus, por exemplo (Marathe *et al.*, 2023).

Por causa de seu tamanho reduzido, Nps vêm ganhando atenção da indústria farmacêutica, apresentando-se como possível alternativa aos tratamentos antibióticos convencionais, especialmente, contendo princípios ativos contra fungos e bactérias (Abdel-Hadi *et al.*, 2023; Jalal *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2020; Sajid; Plotka-Wasyłka, 2020). As Nanopartículas de Prata (AgNps) são exemplos dessa aplicação, possuindo espectro de ação antimicrobiana que compreende bactérias como *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* (Srikar *et al.*, 2016).

Antibióticos convencionais mostram-se, cada vez mais, sob o risco de uma ineficácia diante do agravamento da Resistência Antimicrobiana (RAM), situação que se apresenta como uma das grandes adversidades relacionadas à saúde pública global, sendo estimado, através de índices, que podem ocorrer mais de 700 mil mortes em todo mundo, anualmente (Süle, 2022).

A RAM refere-se à capacidade inerente à microrganismos de sobreviverem à ação de agentes antibióticos. Ela se desenvolve a partir de alterações de mecanismos do patógeno, que tornam ineficazes os fármacos usados anteriormente contra a mesma infecção. A formação de biofilmes por agentes patogênicos agrava o problema, podendo tornar as infecções mais difíceis de tratar (Almutairy, 2024; Ghaffar *et al.*, 2024). Alguns dos mecanismos pelos quais microrganismos exercem essa resistência são: inibição da síntese da parede celular, das proteínas, dos ácidos nucleicos ou inibição das vias metabólicas (Song, 2024).

A síntese de Nps pode ocorrer por métodos químicos, físicos ou biológicos, sendo que a preferência por “métodos verdes” (“green synthesis”), em que se preconiza a utilização de compostos biológicos, faz-se interessante por acarretar menos danos ao meio ambiente (Gomaa, 2017; Jebril; Fdhila; Dridi, 2021).

Assim, a espécie *Gymneia platanifolia* apresenta-se como uma planta endêmica na região Nordeste e compreende-se o uso dela como reagente em síntese verde de AgNps, propondo que fitoquímicos que compõem o extrato desta planta substituam reagentes

químicos industriais (Oliveira *et al.*, 2011). A definição do protocolo da síntese das AgNps faz-se, também, necessária para otimização e controle das características inerentes às AgNps sintetizadas, existência de maior previsibilidade nos resultados de síntese, assim como na atividade antimicrobiana, formando AgNps mais eficazes no combate aos patógenos selecionados.

Portanto, este trabalho tem como objetivo sintetizar nanopartículas de prata utilizando extrato aquoso de *Gymneia platanifolia*, caracterizá-las e investigar sua ação contra as bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, compreendendo melhor suas propriedades a fim de uma aplicação como inibidor bacteriano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTUALIZANDO O USO DE NANOMATERIAIS

A história da ciência e do uso dos nanomateriais têm sido investigados para melhor entendimento e aplicação de suas propriedades. Sobre seu surgimento, é possível que a matéria de escala nanométrica esteja presente na Terra desde a poeira cósmica, trazida através de meteoritos. Sugere-se também que os nanomateriais tenham relação com a constituição da vida, das células primitivas aos seres de maior complexidade (Barhoum *et al.*, 2022).

Durante a idade antiga, anteriormente à descoberta dos antibióticos por Alexandre Flemming, a prata (Ag) já se fazia útil para preservação de bebidas e alimentos, devido à sua propriedade antimicrobiana. Assim, os gregos já utilizavam recipientes de prata para armazenamento de bebidas, assim como os romanos já faziam uso deste artifício para manter o vinho livre de mofo. Da mesma forma, os utensílios de prata também são preferidos na culinária praticada por adeptos da religião hindu (Medici *et al.*, 2019; Srikar *et al.*, 2016). Os chineses costumavam cozinhar arroz junto a uma moeda de ouro para combater o “déficit de ouro” no organismo; já os romanos utilizavam moedas de prata para a manutenção de alimentos e bebidas (Marinescu *et al.*, 2020).

No século XIX, Michel Faraday sintetizou uma solução de ouro com nanopartículas em 1857. Em 1959, Richard Feynman, considerado o pai da nanotecnologia, publicou um livro nomeado “There is plenty of room at the bottom”, no qual ele define o conceito de Nanotecnologia (Marinescu *et al.*, 2020; Rai Dhirenda Prasad *et al.*, 2024).

2.2 NANOPARTÍCULAS

Nanopartículas (Nps) são definidas como partículas de diâmetro menor do que 100nm (Ahlawat *et al.*, 2020; Ansari, 2019). No grego, o prefixo “nano” significa “pequeno” e indica que a matéria estudada está a potência de 10^{-9} (Jamkhande *et al.*, 2019). Então, a nanociência se ocupa do estudo dessas nanopartículas e de suas propriedades tamanho-dependentes. Já a nanotecnologia ocupa-se da síntese e aplicação desses nanomateriais (Joudeh; Linke, 2022). A Figura 1 apresenta as imagens de uma nanopartícula através da microscopia eletrônica de transmissão.

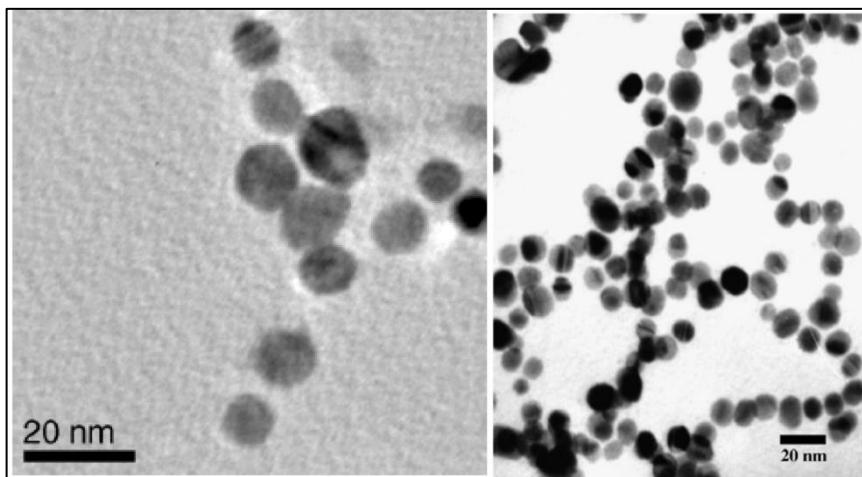


Figura 1: Nanopartículas de prata observadas em microscopia eletrônica de transmissão
Fonte: Adaptada de Abou El-Nour *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2007 (adaptado).

As nanopartículas podem ser classificadas em orgânicas, inorgânicas, cerâmicas e biológicas. Nps orgânicas também são conhecidas como poliméricas, sendo, geralmente, não-tóxicas e biodegradáveis. Costumam ter uso em administração de medicamentos. Incluem micelas, dendrímeros, ferritina e lipossomos. As Micelas e lipossomos possuem um revestimento que forma um interior oco e por isso são conhecidos por nanocápsulas (Ijaz *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2022). A Figura 2 apresenta as ilustrações representativas de variados tipos de nanopartículas.

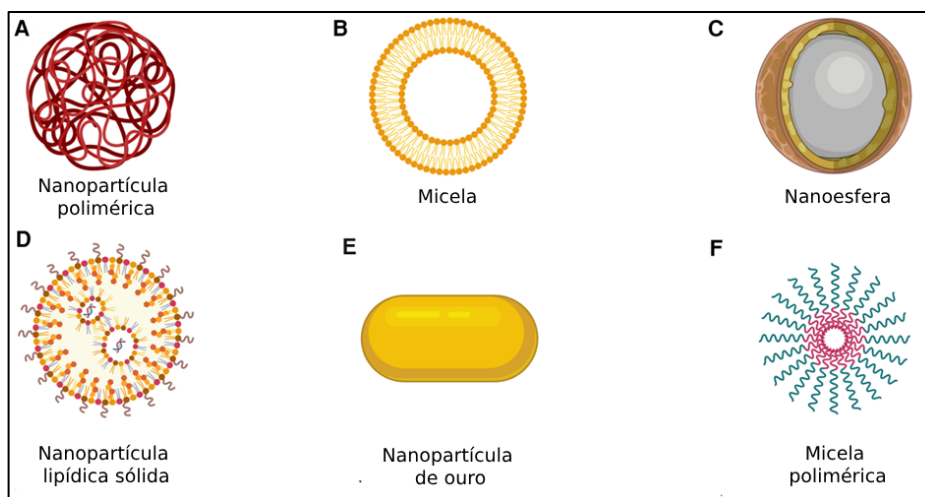


Figura 2: Tipos de nanopartículas, sendo A) Nanopartícula polimérica; B) micela; C) Nanoesfera; D) Nanopartícula lipídica sólida; E) Nanopartícula de ouro; F) Micela polimérica.

Fonte: Adaptada de Das; J. 2023.

As nanopartículas inorgânicas são, normalmente, hidrofílicas e mais estáveis do que as orgânicas. Diferem-se em Nps metálicas e óxido metálicas. Nps metálicas abrangem as Nps sintetizadas a partir de alumínio, ouro, ferro, cobalto, prata, zinco, cádmio, chumbo. Estas, por causa de sua grande razão de superfície por volume e propriedades quânticas, possuem uma

notória sensibilidade à luz ultravioleta-visível, excelentes propriedades elétricas, catalíticas, térmicas e antimicrobianas (Ijaz *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2022).

Por outro lado, as Nps de óxido metálicas (OMNps) possuem aumentada reatividade em relação às suas respectivas Nps metálicas. Elas também possuem vantagens como alta estabilidade, simples preparação, fácil adesão a ambientes hidrofóbicos ou hidrofílicos. Como exemplo de OMNps, tem-se: Nps de óxido de zinco, dióxido de silicone, óxido de ferro e óxido de alumínio (Ijaz *et al.*, 2020; Nikolova; Chavali, 2020).

Estes materiais podem ser classificados de acordo com sua estrutura em: nanomateriais cujas dimensões estão em escala nanométrica (0D), cuja dimensão está em escala nanométrica (1D) e onde duas dimensões estão em escala nanométrica (2D) (Paras *et al.*, 2022). Nanopartículas e fullerenos são dois exemplos de nanomateriais 0D. Já os nanomateriais 1D (como nanobastões) destacam-se, além do alto comprimento por diâmetro, por suas propriedades de alta cristalinidade, boa uniformidade (Paras *et al.*, 2022). Nanomateriais 2D, a exemplo dos grafenos, destacam-se pela sua superfície de contato com alta energia de ligação, quando comparados aos nanomateriais 1D e 3D, em decorrência de sua arquitetura planar (Murali *et al.*, 2021). Já os nanomateriais 3D são formados pelo rearranjo de nanomateriais 1D e 2D, como os nanocubos e dendrímeros (Paras *et al.*, 2022). A Figura 3 ilustra essa classificação.

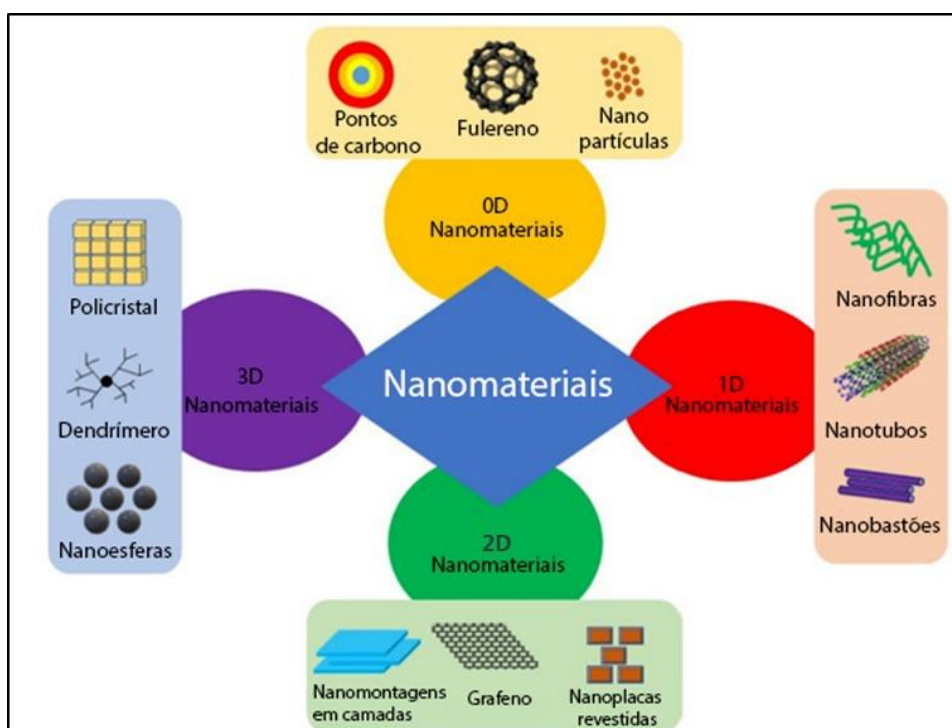


Figura 3: Classes dos nanomateriais.
Fonte: Adaptado de Wang *et al.* 2020.

As propriedades referentes às nanoestruturas estão intimamente relacionadas ao seu formato (Meng; Tang; Vongehr, 2010). Diante disso, resalta-se que as Nps se apresentam em vários formatos, como nanoplaças de Ag triangulares (a), aproximadamente esféricas (b), cúbico (c), hastes (d), nanocubos (e), nanobarras (f), nanofios (g), nanoprismas (h), piramidal (i) e formato de flor (j e k) (Figura 4).

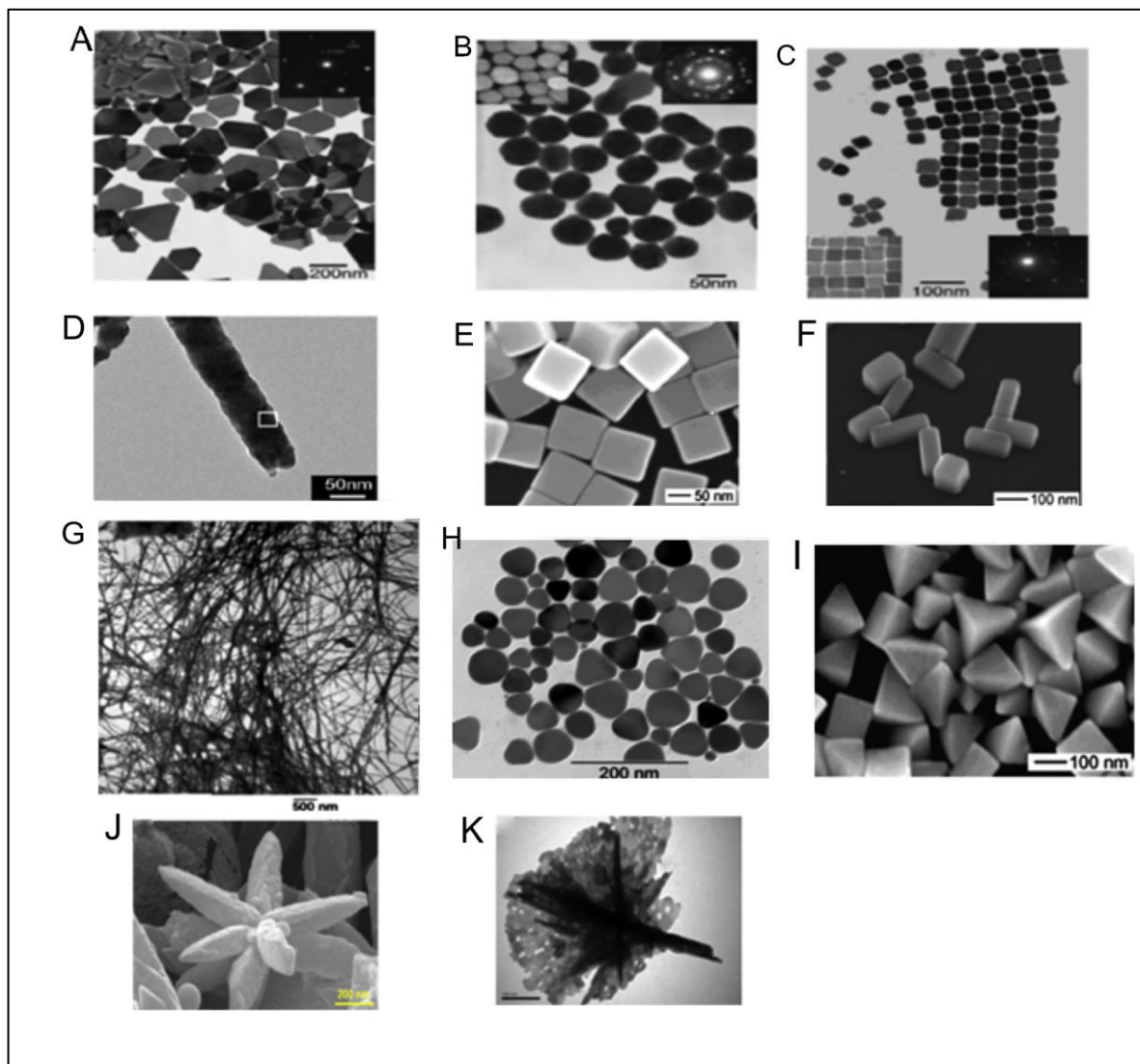


Figura 4: Imagens de nanopartículas de prata de diferentes formatos: A) Ag triangulares, B) aproximadamente esféricas, C) cúbico, D) hastes, E) nanocubos, F) nanobarras, G) nanofios, H) nanoprismas, I) piramidal, J e K) formato de flor.

Fonte: Adaptado de Khodashenas; Ghorbani, 2015.

O tamanho e o formato das AgNps sintetizadas dependem de diversas condições relacionadas ao processo de síntese, a exemplo da proporção molar entre a prata e o agente redutor, temperatura, concentração da prata e pH da solução (Khodashenas; Ghorbani, 2015). Diante disso, por exemplo, a morfologia dos cristais está relacionado ao equilíbrio termodinâmico da estrutura. O aumento da força motriz para a cristalização proporciona a

formação de poliedros, como estruturas nanométricas em octaedros, cubos e pirâmides (Figura 5) (Khodashenas; Ghorbani, 2015).

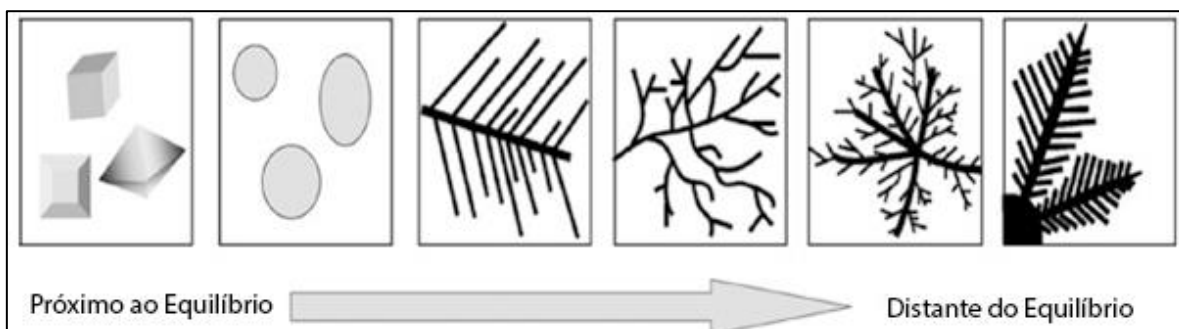


Figura 5: Correlação entre a distância das condições de formação em relação ao equilíbrio termostático e as morfologias das Nps metálicas formadas

Fonte: Adaptado de Khodashenas; Ghorbani, 2015.

2.2.1 Síntese de nanopartículas

Para a síntese de Nps, as abordagens dividem-se em: *bottom-up* e *top-down*. A abordagem *top-down* converte materiais de maior escala em partículas menores por meio de métodos físicos, a exemplo da ablação a laser e ball milling. Embora seja capaz de produzir em larga escala, requer bastante investimento em energia e equipamentos (Jiang *et al.*, 2022)., Enquanto isso, a abordagem *bottom-up* compreende a reorganização molecular da matéria dos reagentes em nanopartículas, sendo considerada mais econômica e simples de ser realizada, como mostra a Figura 6 (Ahmad *et al.*, 2019; Rai Dhirenda Prasad *et al.*, 2024).

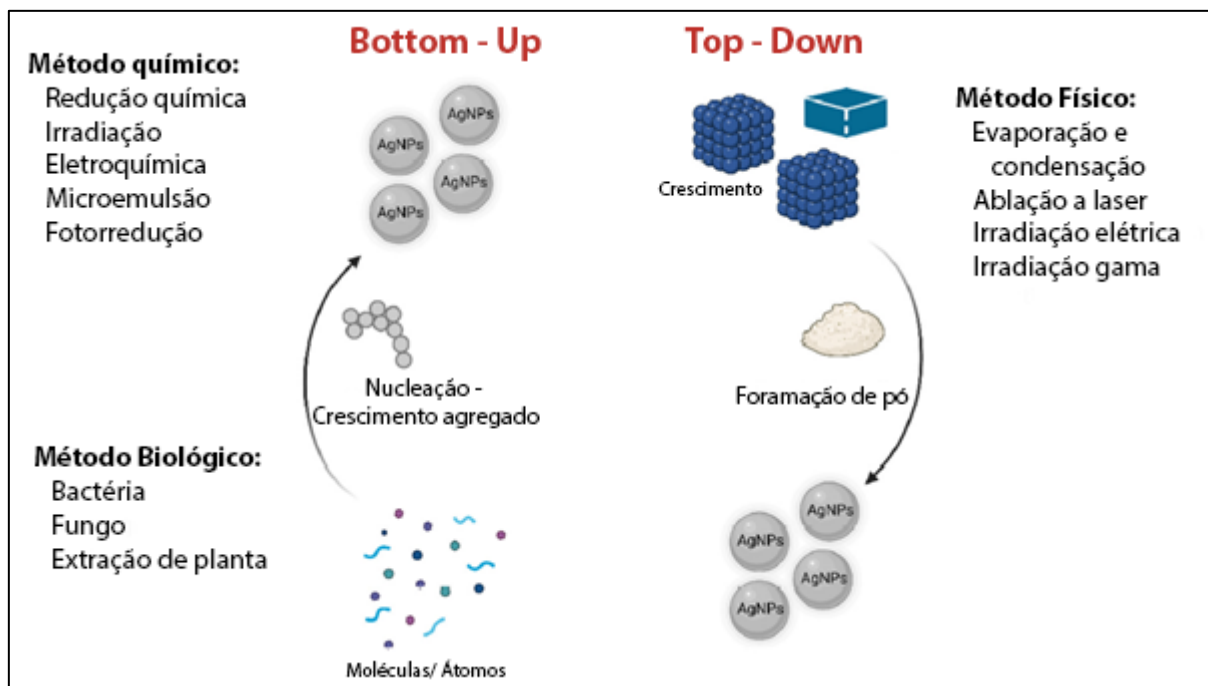


Figura 6: Representação esquemática das Abordagens *Bottom-up* e *top-down* para a síntese de Nps
Fonte: Adaptado de Chandrasekaran *et al.* 2023.

A abordagem *top-down* compreende a redução de uma substância volumosa até as dimensões nanométricas desejadas. Esta abordagem, normalmente, requer alta energia, por via mecânica, térmica ou até por lasers de alta energia (Marinescu *et al.*, 2020). Portanto, esta forma de produção de Nps necessita de grandes instalações e aporte de capital. Entre os métodos que induzem esta abordagem, inclui-se: implantação de íons, litografia de feixe de elétrons e litografia de raios X, técnicas de fresagem, anodização, corrosão iônica e de plasma (Dhand *et al.*, 2016; Patil *et al.*, 2021). A abordagem *top-down*, porém, pode apresentar dificuldades em estruturar completamente a superfície de contato das Nps (Pandit *et al.*, 2022).

Os métodos físicos de síntese de Nps, geralmente, utilizam da abordagem *top-down*, aplicando sobre o material uma pressão mecânica, radiações de alta energia, energia térmica ou energia elétrica, provocando as alterações devidas ao material a ser reduzido à escala nanométrica. Estes métodos físicos incluem: moagem de bolas de alta energia, ablação a laser, eletro pulverização, condensação de gás inerte, deposição física de vapor, pirólise a laser, mistura por fusão (Dhand *et al.*, 2016).

A abordagem *bottom-up* para síntese de Nps consiste na reorganização por automontagem de partículas, átomos e moléculas em nanopartículas (Pandit *et al.*, 2022). Entre os métodos da abordagem *bottom-up*, a síntese química é amplamente utilizada devido ao seu baixo custo e alta escalabilidade (Jiang *et al.*, 2022). Entretanto, essa abordagem

enfrenta desafios quanto à toxicidade e ao impacto ambiental dos reagentes utilizados, como etilenoglicol, borohidreto de sódio [NaBH₄], citrato de sódio e hidrazina. Além disso, faz-se necessária a utilização de agentes estabilizadores dessas reações, como polímeros, ácido ascórbico e dendrímeros (Pandit *et al.*, 2022). Para mitigar esses efeitos, tem-se explorado métodos alternativos, como a síntese verde, proporcionando uma abordagem mais amigável ambientalmente para a produção de nanopartículas (Ndlovu *et al.*, 2024).

Portanto, a produção das AgNps pode ser realizada por diversos métodos, incluindo físicos, químicos e biológicos. Os métodos físicos e químicos convencionais são caros, requerem reagentes tóxicos e apresentam riscos ambientais. Entretanto, a “síntese verde”, que utiliza compostos biológicos como fungos, plantas e bactérias, é mais econômica e ecológica comparada aos outros métodos, tornando crescente o interesse científico sobre essa abordagem (Gomaa, 2017; Jebril *et al.*, 2021). A partir da possibilidade de uma rota verde para produção das AgNps, fitoquímicos presentes em plantas, como glicosídeos, terpenóides, alcalóides e compostos fenólicos apresentam-se como potenciais agentes redutores e estabilizadores de íons de prata no processo de formação das AgNps (Vidyasagar *et al.*, 2023). Como exemplo, a síntese de nanopartículas de prata a partir do extrato metanólico do caule da planta *Callicarpa maingayi* (Chung *et al.*, 2016).

2.2.2 Síntese Biológica de nanopartículas

A síntese biológica de nanopartículas, também conhecida como 'síntese verde', utiliza de reagentes biológicos como bactérias, fungos, algas e plantas, para síntese das Nps. Ela tem se destacado como uma alternativa às abordagens tradicionais químicas e físicas, já que a síntese verde oferece menos toxicidade à célula e mostra-se mais amigável ao meio ambiente (Nadaroglu, Gungor & Ince, 2017). Além disso, os métodos tradicionais de síntese, frequentemente, além de utilizarem reagentes tóxicos, eles também consomem altos níveis de energia (Rónavári *et al.*, 2021).

A química verde tem sua utilização regida por princípios como a redução de resíduos tóxicos, desenvolvimento de materiais biocompatíveis, utilização de solventes ecologicamente amigáveis (a exemplo da água), baixo consumo de energia, utilização de matérias-primas renováveis e processos de produção, transporte e armazenamento mais eficientes (Osman *et al.*, 2024).

A síntese verde de Nps, porém, apresenta como desvantagem a dificuldade em produzir nanopartículas monodispersas (Narayanan; Sakthivel, 2010), além da possibilidade da matéria-prima não estar disponível em quantidade suficiente para as reações e tempo de reação ser possivelmente longo (Ying *et al.*, 2022).

A síntese de Nps a partir do uso de plantas, como redutor, oferece também a possibilidade de produção em larga escala, a exemplo das AgNps (Akintelu; Bo; Folorunso, 2020). As plantas são consideradas fatores de preservação e equilíbrio ambiental, também pela capacidade dos fitoquímicos reterem componentes tóxicos do meio ambiente, que podem ser prejudiciais a este mesmo em baixas concentrações. Além disso, elas se relacionam com componentes metálicos sendo reagentes na síntese verde de Nps (Jadoun *et al.*, 2020).

A utilização de microrganismos pode ser explorada para a “síntese verde” de nanopartículas, conhecendo-se a capacidade de certos microrganismos agirem acumulando metais em sua estrutura e, dessa maneira, produzirem materiais em escala nanométrica intra ou extracelular. A resistência microbiana a esses metais ocorre por uma subsequente desintoxicação química feita pela precipitação ou redução de íons inorgânicos. Dessa forma, a síntese de Nps com o uso de microrganismos pode ser utilizada em setores como a biorremediação (Gericke; Pinches, 2006; Narayanan; Sakthivel, 2010). Vale ressaltar que se recomenda a não-utilização de microrganismos patogênicos para a síntese de Nps de uso médico, por estes microrganismos acarretarem risco de toxicidade (Murillo-Rábago *et al.*, 2022). Diante deste contexto, ressalta-se, ainda mais, a vantagem da utilização de extratos vegetais como redutores de metais na síntese de Nps e, dessa forma, a investigação a cerca desse modo de síntese.

Os fungos estão inclusos entre os microrganismos cuja atividade de desintoxicação de metais e proteção contra o estresse ambiental favorecem a formação de nanopartículas. Estas nanopartículas podem atuar ainda como nano enzimas. Um exemplo dessa circunstância são as Nps de ferrihidrita que possuem atividade semelhante à peroxidase, além de auxiliarem na aquisição de ferro (Li *et al.*, 2021).

Assim sendo, a síntese de Nps utilizando fungos pode ocorrer de forma extracelular ou intracelular. Para a síntese intracelular de Nps, o precursor metálico das Nps é internalizado diretamente à biomassa fúngica. Neste processo, é necessário tratamento químico, centrifugação e filtração para liberar as Nps sintetizadas da biomassa. Já no processo de síntese extracelular, o componente metálico da reação de síntese é adicionado aos metabólitos derivados da biomassa (Guilger-Casagrande; De Lima, 2019).

A fração extracelular derivada do fungo compreende metabólitos secretados e proteínas, enquanto o meio intracelular contém proteínas, metabólitos primários e secundários, fragmentos de DNA e RNA derivados da biomassa (Murillo-Rábago *et al.*, 2022).

Um grande número de bactérias também vem sendo utilizado para biossíntese de Nps. Para isso, parte-se também do princípio que as bactérias possuem mecanismos de defesa contra a alta toxicidade de metais pesados em seu organismo. Como exemplo, as espécies bacterianas *Pseudomonas stutzeri* e *Pseudomonas aeruginosa* são capazes de sobrevivência em altas concentrações de íons metálicos. Essa propriedade de resistência a metais acontece por mecanismos como sistemas de efluxo de metais, inativação e complexação, volatilização de metais tóxicos por enzimas, entre outros (Iravani, 2014).

De toda forma, as características das Nps são influenciadas por características físico-químicas inerentes como estabilidade, tamanho e composição. Assim, faz-se necessário conhecer estrutura e propriedades físico-químicas das Nps a fim da otimização destas para os devidos fins de aplicação (Duman *et al.*, 2024).

2.2.3 Caracterização das nanopartículas

A caracterização das AgNps é fundamental para conhecer a estrutura molecular e as propriedades óticas, físicas e eletrônicas inerentes a esta estrutura, implicando em diferentes aplicações de acordo com essas características. Métodos como a microscopia eletrônica de transmissão (TEM) e difração de raios X (XRD) são frequentemente utilizados para determinar o tamanho, a morfologia e a composição das nanopartículas. Além disso, a estabilidade coloidal e as propriedades de superfície, como a funcionalização com grupos químicos, influenciam diretamente o desempenho das nanopartículas em aplicações biomédicas e catalíticas, tornando a caracterização um passo crítico no desenvolvimento de novos materiais (De Oliveira *et al.*, 2020).

2.2.4 Espectroscopia de Absorção no Ultravioleta-Visível

A Espectroscopia é um método de análise de substâncias a partir de sua interação com a radiação eletromagnética (REM). A REM deriva da força de um campo elétrico sobre um elétron, causando movimento de partículas. A espectroscopia de Absorção no Ultravioleta-

Visível (UV-vis) (Figura 7) consiste na mensuração da absorbância ou emissão dessa forma de radiação pela amostra estudada (Ghosh; Nandi, 2024; Jee *et al.*, 2022).

O processo de absorção e emissão de radiação por uma amostra quando esta muda de estado energético é identificado e sinaliza sobre diferentes propriedades vinculadas ao composto estudado, de acordo com a Lei de Beer e Lei de Lambert. A Lei de Beer afirma que a absorbância do comprimento de onda e a concentração da solução absorvente são diretamente proporcionais entre si. Por outro lado, a Lei de Lambert explica que a intensidade da luz diminui diretamente proporcional à espessura do meio (Jee *et al.*, 2022).

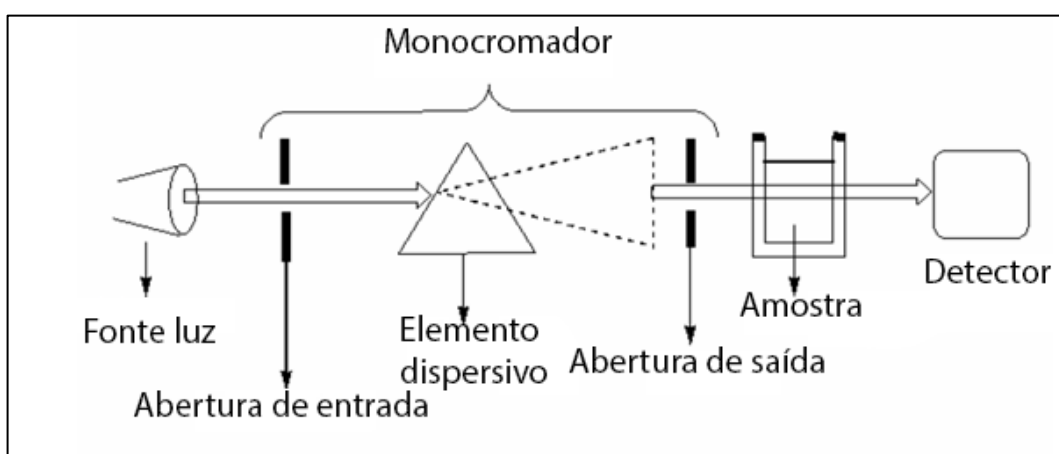


Figura 7: Ilustração da técnica de Espectroscopia de Absorção no Ultravioleta-Visível

Fonte: Adaptado de: Ghosh e Nandi (2024) Microscopias Eletrônicas

Os diferentes resultados obtidos pelo equipamento de Espectroscopia UV-vis podem ser analisados qualitativamente e quantitativamente, permitindo relacioná-los com a estrutura e composição molecular da substância (Chen, 2024).

Esta técnica é amplamente utilizada em laboratórios de química analítica e na indústria farmacêutica, sendo considerada uma técnica simples e menos custosa que outras espectroscopias, como a infravermelho (Laela Hayu Nurani *et al.*, 2023).

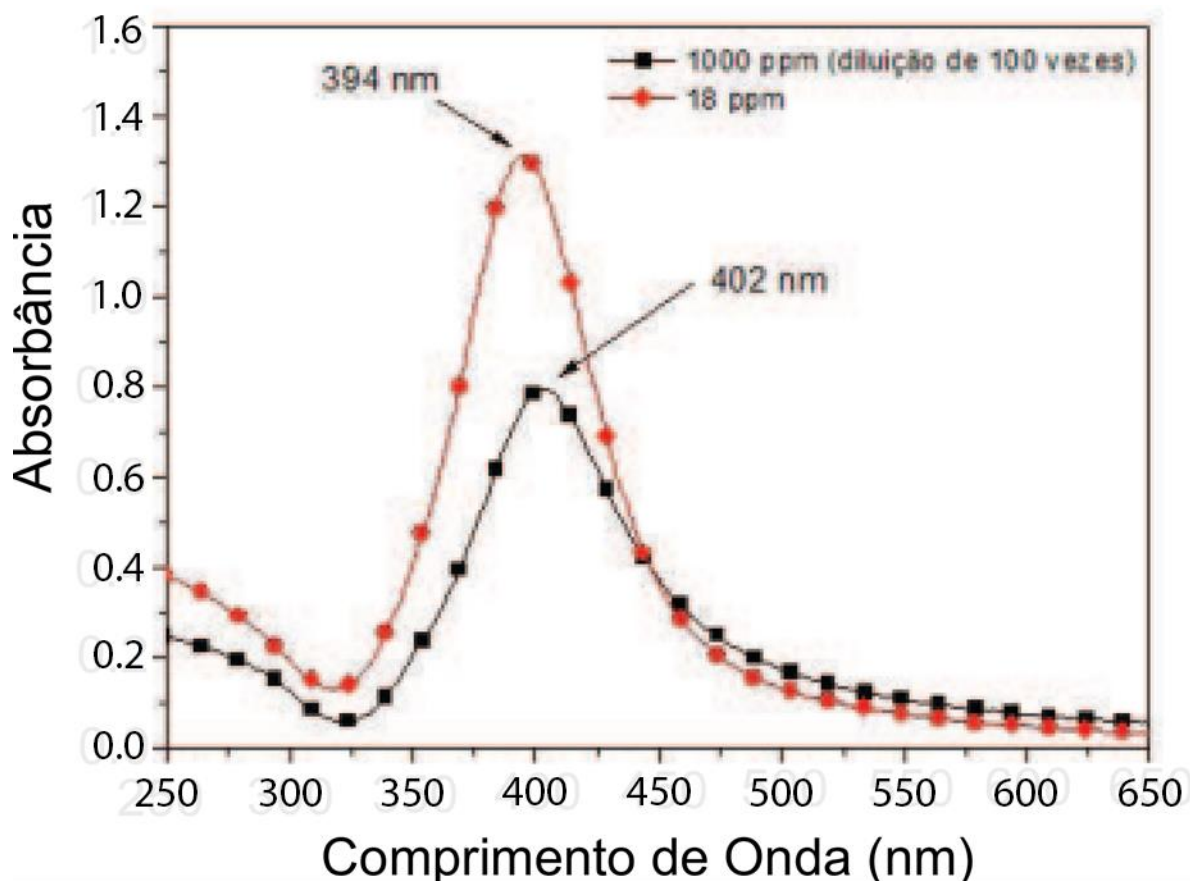


Figura 8: Espectros de UV-Vis das soluções coloidais de AgNps

Fonte: Adaptado de: Antunes et al., 2013.

A espectroscopia UV-vis é amplamente utilizada para confirmar a presença de Nps em uma solução coloidal, devendo esta mensuração indicar pico de absorbância pertencente à faixa de comprimento condizente à formação de Nps. Assim demonstra o exemplo contido na Figura 8, cuja espectroscopia foi utilizada para confirmar a síntese verde de AgNps em 18 ppm e 1000 ppm (Antunes, 2013).

2.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura e Microscopia Eletrônica de Transmissão

Microscopia Eletrônica de Varredura (SEM) (Figura 9) e Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM) (Figura 10) são técnicas de Microscopia distintas e bastante utilizadas na caracterização das Nps. A SEM apresentam ótima profundidade de foco, podendo ampliar uma imagem em até 100.000 vezes, por meio da incidência de feixe de elétrons sobre a amostra, permitindo análise de superfícies irregulares, como fraturas superficiais. Assim, SEM é uma técnica que auxilia na investigação da morfologia da superfície de contato das AgNps e sua relação com outras substâncias (Frota, Lima Filho & Moraes Filho, 2024; Pryshchepa; Pomastowski; Buszewski, 2020; Padilha, 2020). Esta técnica disponibiliza

informações a respeito do grau de rugosidade da superfície, composição, forma e tamanho (Aziz *et al.*, 2025).

A SEM apresenta vantagens relacionadas ao seu uso, que incluem capacidade de fornecer imagens tridimensionais, de alta resolução e fornecer imagens em tempo real. Em contrapartida, a SEM é possível apenas diante de amostra, que deve ser condutora, em quantidade adequada para sua realização. Assim sendo, é necessário adequar tamanho e profundidade da amostra (Aziz *et al.*, 2025).

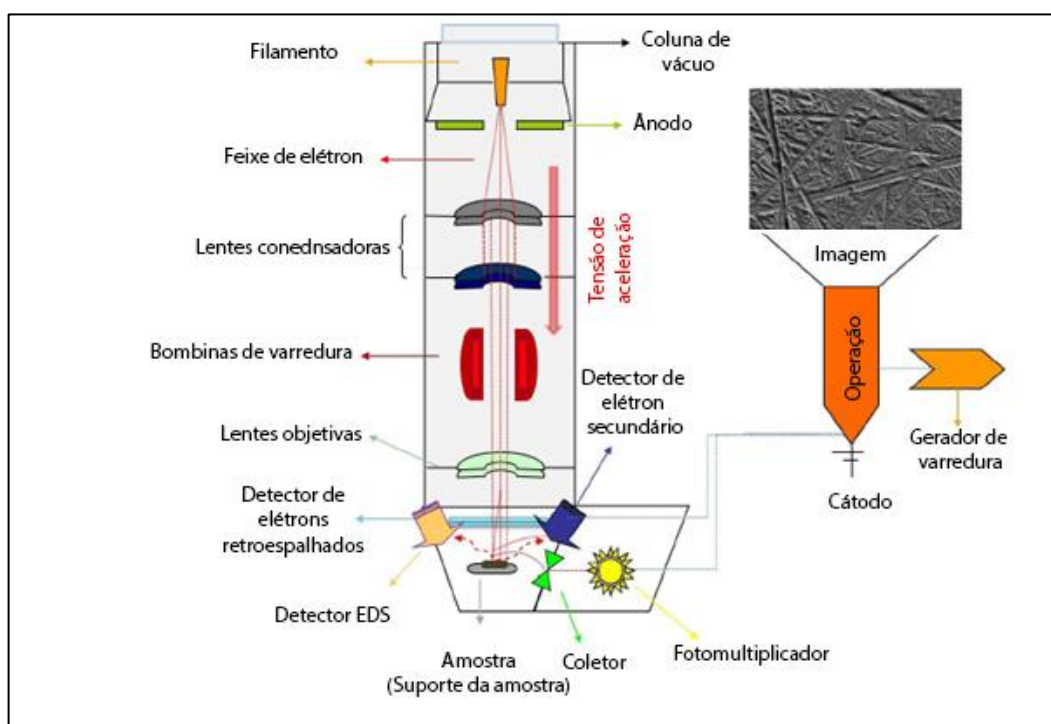


Figura 9: Ilustração da estrutura do aparelho de Espectroscopia Eletrônica de Varredura
Fonte: Adaptado de: Samancioglu (2024)

A TEM é uma técnica que pode fornecer informações como morfologia, cristalização e magnetismo de materiais, além de possibilitar análise da composição, dos defeitos e fases internas destes, por meio de imagens ampliadas em alta resolução de uma espessura específica desse material. O mecanismo da TEM consiste em gerar imagem utilizando um feixe de elétrons de alta voltagem que incide sobre a amostra (Aziz *et al.*, 2025). Consequentemente, TEM, descrita na Figura 10, permite identificação do tamanho, formato e arranjo das Nps. A TEM especifica-se em diferentes formas de Microscopia, estando inclusas: CTEM (Conventional TEM), HRTEM (High-resolution TEM), e STEM (Scanning TEM) (Pryshchepa; Pomastowski; Buszewski, 2020).

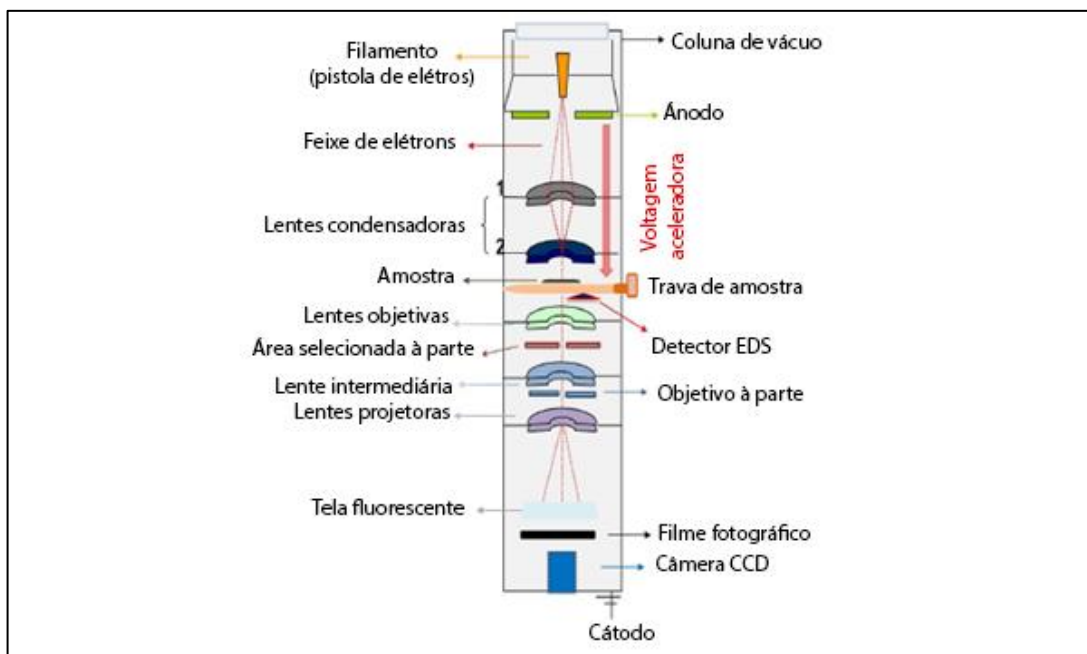


Figura 10: Ilustração do aparelho de Microscopia Eletrônica de Transmissão (TEM)

Fonte: Adaptado de: Samancioglu (2024).

2.2.6 Espelhamento Dinâmico de Luz e Potencial Zeta

Espelhamento Dinâmico de Luz (DLS) é uma técnica que permite a medição da intensidade da luz espalhada pelas nanopartículas. O DLS, descrito na Figura 11, baseia-se na utilização de onda de luz, que se espalha devido ao movimento browniano dos átomos/moléculas/partículas. Segundo o Efeito Doppler, a frequência de luz espalhada por uma partícula depende da velocidade desta. Partículas menores movem-se mais rapidamente que as maiores (Jia *et al.*, 2023). Dessa maneira, a análise deste espalhamento permite identificar o tamanho hidrodinâmico destas partículas de forma não-invasiva, de baixo custo e rápida. Entretanto, existem dificuldades inerentes à análise e interpretação de dados, que incluem a variação dos resultados do DLS de acordo com a temperatura e viscosidade do solvente, além de distorção desses resultados perante a existência de maiores partículas na solução (Jia *et al.*, 2023; Rodriguez-Loya; Lerma; Gardea-Torresdey, 2024).

Já o Potencial Zeta (PZ) (Figura 12) é a medida da carga elétrica a uma curta distância (1 nm) de uma superfície molecular (Hughes, 2024). PZ é um parâmetro importante para avaliar interações moleculares e biocompatibilidade, e está entre as formas mais acessíveis para medida da carga líquida de uma solução. Este indicador é medido através da correlação entre modelos teóricos e parâmetros obtidos por resultado de efeitos eletrocinéticos que derivam da interação entre líquido contendo íons e uma superfície carregada (Mohammadi-Jam; Waters; Greenwood, 2022).

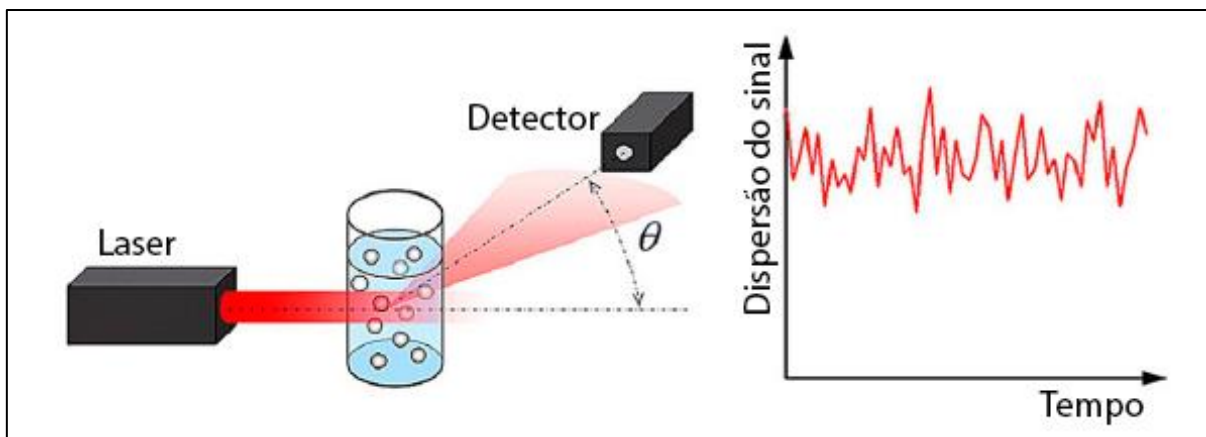


Figura 11: Representação da técnica de mensuração do Espelhamento Dinâmico de Luz

Fonte: Adaptado de: (Rodríguez-Loya; Lerma; Gardea-Torresdey, 2024).

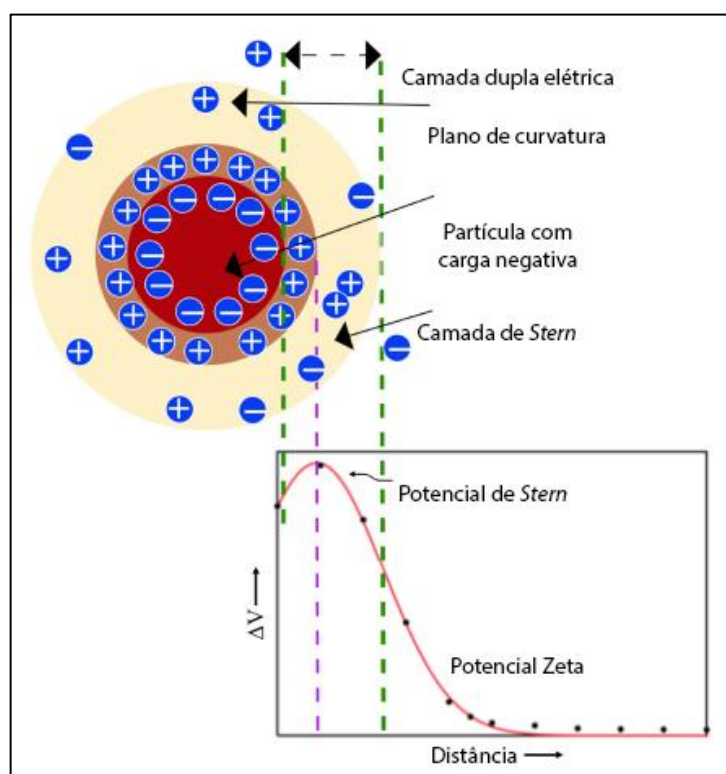


Figura 12: Representação da definição de Potencial Zeta

Fonte: Adaptado de: (Lunardi *et al.*, 2021).

Assim, PZ indica a estabilidade das amostras de Nps, dado que as soluções com valores de PZ menor que -30 mV ou maior que +30 mV tendem a maior repulsão e menor agregação entre as partículas. A ionização de compostos presentes ou absorção de íons aumenta ou diminui esse PZ. São fatores influenciadores do PZ: concentração e tamanho das Nps, solventes, pH, condutividade, temperatura e condições do eletrodo (Lunardi *et al.*, 2021).

2.3 ATIVIDADES ANTIMICROBIANA DAS NANOPARTÍCULAS

As diversas características físico-químicas (como tamanho, superfície de contato, estrutura cristalina e potencial zeta) inerentes a cada tipo de Nps ajuda a explicar por que essa classe de substâncias representam a principal alternativa aos medicamentos tradicionais em frente a problemas como a resistência antimicrobiana. O comprimento nanométrico das Nps permite, por exemplo, a ligação dessas com a parede celular bacteriana e gerar danos à membrana (Rosli; Teow; Mahmoudi, 2021).

Dessa forma, Nps apresentam efeito antimicrobiano contra largo espectro bacteriano, tanto bactérias Gram-positivas quanto Gram-negativas. E embora esse mecanismo de ação ainda não esteja tão bem elucidado, atividade relacionada a estresse oxidativo celular, liberação de íons metálicos e mecanismos não oxidativos podem implicar em ruptura ou alteração da permeabilidade da membrana, presença de espécies reativas de oxigênio no interior da célula, interações das Nps com DNA e proteínas bacterianas (Wang; Hu; Shao, 2017).

Como exemplo da atividade antimicrobiana de Nps, as CuNps sintetizadas a partir da redução de solução de cloreto de cobre, utilizando ácido ascórbico como antioxidante foram capazes de inibir *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans* (Bogdanović *et al.*, 2014), assim como a atividade antibacteriana de Nanopartículas de Óxido de Zinco (ZnONps), sintetizadas utilizando-se extrato da planta *Aloe vera*, atuando na inibição de bactérias como *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* e *Salmonella typhi* (Lakshmi *et al.* 2012).

2.4 ATIVIDADES ANTIMICROBIANA DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA

As AgNps demonstraram atividade antimicrobiana contra uma variedade de fungos e bactérias (Abdel-Hadi *et al.*, 2023; Jalal *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2020), sendo aplicada em tratamentos de água, agricultura, carreamento de fármacos e biomedicina (Srikar *et al.*, 2016), por exemplo, através de curativos para a cicatrização de ferimentos e cateteres, utilizando sua capacidade antimicrobiana (Roy *et al.*, 2013).

O espectro de ação antibacteriana das AgNps inclui bactérias Gram-positivas como *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus licheniformis*; e bactérias Gram-negativas como *Escherichia coli* e *Ureibacillus thermo sphaerius* (Srikar *et al.*, 2016). Outros exemplos de aplicação das AgNps no combate às bactérias são a demonstrada capacidade de inibição da

Streptococcus mutans, um dos principais agentes etiológicos da doença cárie (Targino *et al.*, 2014).

As AgNps podem também ter sua composição vinculada a outros fármacos (como amoxicilina, ampicilina e clorafenicol), a fim de promover sinergia e melhor atividade antimicrobiana. Esse efeito sinérgico acontece por meio da perda da integridade das membranas plasmáticas microbianas por ação das AgNps, facilitando o acesso intracelular dos antibióticos, e, dessa maneira, acentuando a eficiência destes (Vásquez-Muñoz, *et al.*, 2019). Como exemplo, as AgNps modificadas com C-ficocianina apresentaram Concentração Inibitória Mínima (CIM) de 7.4 µg/mL para inibição de *Pseudomonas aeruginosa* resistentes a carbapenem e *Staphylococcus aureus* resistentes à meticilina (Chegini *et al.*, 2024).

A atividade inibitória contra bactérias ainda foi confirmada em testes de CIM (concentração inibitória mínima) e CBM (Concentração Bactericida Mínima) pela inibição do crescimento de *Staphylococcus aureus* em 24h pelo uso de AgNps de concentração de 5 µg/ml, a qual também foi bactericida na concentração de 20 µg/ml (Li *et al.*, 2010). Outros exemplos são a inibição de cepas resistentes de *Escherichia coli* por AgNps em teste realizado por microdiluição seriada, que obteve CIM de 128 µmol/l (Gouyau *et al.*, 2021); e ainda a inibição de *Escherichia coli*, *Salmonella thyphimurium* e *Vibrio parahaemolyticus* pelo uso de AgNps na CIM de 3,12 µg/ml e CBM de 6,25 µg/ml (Zarei; Jamnejad; Khajehali, 2014).

As Nps de ouro e zinco também obtiveram resultado antimicrobiano quanto à inibição bacteriana quando comparadas às CIM de outras Nps. Como exemplos, as AuNps biossintetizadas demonstraram CIM de 75 µg/ml para *Escherichia coli*, 50 µg/ml para *Staphylococcus aureus* e *Bacillus subtilis* (Khan *et al.*, 2016); assim como as nanopartículas de zinco (ZnNps) sintetizadas junto a um modificador de superfície, que apresentaram CIM de 0.0652 mg/ml contra *S. aureus* (Silva *et al.*, 2019).

O resultado referente ao efeito antimicrobiano do uso das AgNps varia também de acordo à abordagem de síntese. Como exemplo, AgNps produzidas com uso de algas marinhas apresentaram melhor rendimento do que AgNps sintetizadas sob a utilização de NaBH₄. As primeiras apresentaram CIM nos valores de 0,5 mg/mL, 1 mg/mL, 0,5 mg/mL, 2 mg/mL e 1 mg/mL, respectivamente, para inibição de *S. aureus*, *Salmonella sp.*, *Aeromonas sp.*, *E. coli* e *B. cereus*. Enquanto isso, as AgNps produzidas utilizando-se NaBH₄, encontraram CIM nos valores de 4 mg/mL, 4 mg/mL, 2 mg/mL, 3 mg/mL e 4 mg/mL para as mesmas espécies bacterianas (Hamouda *et al.*, 2019).

2.4.1 Mecanismo de Ação das Nanopartículas de Prata

O mecanismo de ação da atividade antimicrobiana das AgNps ainda não é completamente compreendido. Contudo, sugere-se que ocorra tanto pela ação do cátion prata (Ag^+) quanto pelo contato direto das nanopartículas com microrganismos (Radzikowska-Buchner *et al.*, 2023), como na relatada inibição de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* (Wang *et al.*, 2014). As AgNps demonstram significativa capacidade de inibição bacteriana, aumentando a permeabilidade da membrana celular, o que resulta em extravasamento citoplasmático e morte celular. Outro mecanismo de ação inclui a interação das moléculas de prata com o enxofre presente nas proteínas bacterianas, levando à desativação das enzimas respiratórias e do oxigênio livre na célula. Isto interrompe a produção de Adenosina Trifosfato (ATP) e modifica processos metabólicos essenciais conforme representado na Figura 13 (Bruna *et al.*, 2021; Yin *et al.*, 2020).

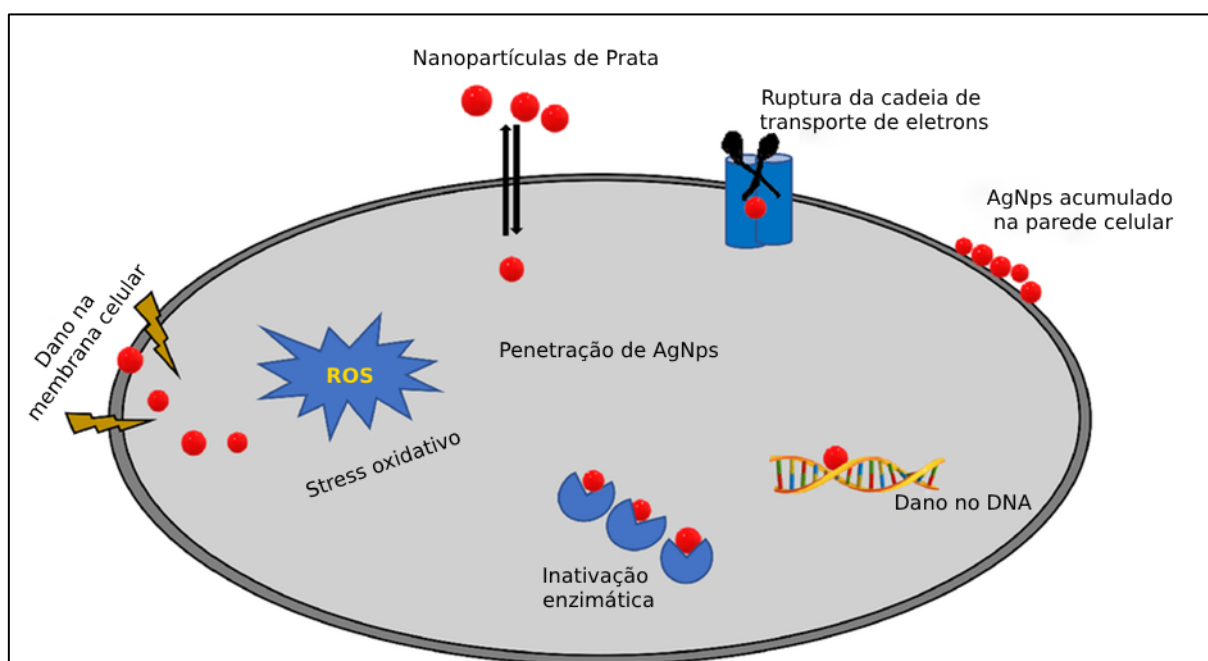


Figura 13: Esquema representativo do mecanismo de ação da inibição bacteriana por AgNps

Fonte: Yin *et al.*, 2020 (adaptado).

A presença de oxigênio livre na célula também pode ser o principal fator desencadeante da ruptura de membrana plasmática e de alteração do ácido desoxirribonucleico (DNA). Essas alterações do DNA implicam em dificuldades de replicação de DNA e reprodução celular (Yin *et al.*, 2020). A ação antibacteriana pela desativação de proteínas e perda da habilidade de replicação do DNA é relatado na literatura, como na inibição de *Escherichia coli* (Sondi; Salopek-Sondi, 2004).

2.4.2 Toxicidade das Nanopartículas de Prata

Deve-se ter atenção às condições de toxicidade das AgNps, normalmente dependentes de característica inerentes à nanopartículas, como forma e tamanho. Estudos apontam que as AgNps podem exercer toxicidade celular através do mecanismo de “Cavalo de Tróia”, ao serem fagocitadas no organismo por macrófagos, desencadeando a liberação de oxigênio livre e consequente ativação do Fator de Necrose Tumoral TNF), estimulando um processo inflamatório, que pode induzir apoptose (Mikhailova, 2020).

Além disso, a escala nanométrica das AgNps permite a interação de íons de prata com moléculas, células e órgãos humanos. Relata-se que as AgNps podem prejudicar a função mitocondrial em células humanas devido ao estresse oxidativo associado. Adicionalmente, a prata também pode ser encontrada pelo organismo humano, em órgãos como fígado e baço, existindo ainda a preocupação sobre o transpasse dessas partículas ao sistema nervoso (Yin *et al.*, 2020).

A toxicidade das AgNps é dependente de fatores como a dose, a preparação da suspensão, a natureza química da superfície de revestimento, o tamanho e a morfologia das AgNps. Ressalta-se que esses indicadores não determinam a toxicidade das AgNps de maneira independente. Por exemplo: embora menores AgNps tendam a desencadear maior toxicidade que as maiores, este indicador relaciona-se também com o mecanismo de internalização delas pelos organismos (Durán *et al.*, 2018).

Além do mais, vale ressaltar que as abordagens tradicionais para a síntese de nanopartículas fazem uso de substâncias químicas como reagentes, que implicam maior toxicidade das Nps formadas. Ao contrário, a síntese verde de Nps oferece uma alternativa a essas reações de toxicidade, oferecendo Nps mais baratas, eficazes e menos tóxicas do que o que é convencionalmente utilizado (Roy *et al.*, 2013).

2.5 RESISTÊNCIA ANTIMICROBIANA

A descoberta dos antibióticos foi um advento de significativa importância na história dos tratamentos médicos, acarretando uma diminuição das mortes provocadas por infecção. Em contraponto, o uso indevido desses antibióticos em setores como agricultura, pecuária e medicina, é apontado como causa principal do desenvolvimento da RAM. Por meio de uma seleção provocada por um uso indiscriminado desses antibióticos, microrganismos adquirem

genes que conferem resistência e podem passar essa capacidade a outros microrganismos, espalhando, assim, a resistência (Tang; Millar; Moore, 2023; Velazquez-Meza *et al.*, 2022).

Os principais mecanismos pelos quais a bactéria pode se tornar resistente à ação de um antimicrobiano são: a) a permeabilidade reduzida das membranas externas; b) efluxo da substância ativa do fármaco; c) modificação/inativação da droga, tornando este incapaz de se ligar ao alvo molecular; d) redução do acúmulo intracelular do antibiótico, por meio da redução do influxo ou aumento do efluxo da substância; e) alteração do sítio alvo da substância antibiótica (Abushaheen *et al.*, 2020; Reygaert, 2018).

Para avaliar a resistência ou susceptibilidade de bactérias a antimicrobianos, utiliza-se como medida a Concentração Inibitória Mínima (CIM), que indica a mínima concentração em que um fármaco pode inibir o crescimento da bactéria e Concentração Bactericida Mínima (CBM), pela qual é possível eliminar 99,3% da carga bacteriana. Como exemplo, por meio do monitoramento do crescimento de bactérias de origem alimentar (*Escherichia. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* e *Vibrio parahemolyticus*) verificou-se CIMs entre 6.25 µg/mL e 3.12 µg/mL, assim como CBM de 6.25 µg/mL (Reygaert, 2018; Zarei; Jamnejad; Khajehali, 2014).

Aliada à RAM, a formação de biofilmes favorece o crescimento bacteriano por formar uma barreira de proteção do aglomerado bacteriano contra o sistema imunológico do hospedeiro, por meio de uma matriz polimérica extracelular, formada por polissacarídeos, proteínas e DNA extracelular. Evidências indicam que a resistência associada à presença de biofilme pode estar relacionada ao retardamento da penetração de antibióticos no biofilme, alteração do microambiente químico e à presença de subpopulações bacterianas de espécies diferentes no biofilme (Malaekheh-Nikouei *et al.*, 2020; Thambirajoo *et al.*, 2021).

2.6 PLANTAS MEDICINAIS DO SEMIÁRIDO

O Brasil é uma país extremamente rico em biodiversidade, contendo em seu território a mais diversificada flora do mundo. São cerca de 35.500 espécies de espermatófitas, sendo boa parte delas endêmicas. Entre essas plantas, encontram-se compostos bioativos que representam imenso potencial para a indústria farmacêutica, cosmética, alimentícia, entre outras (Rocha, 2022).

A caatinga, vegetação inclusa nas fronteiras climáticas do semiárido brasileiro, representa um dos importantes biomas do território brasileiro. Ela apresenta uma rica biodiversidade, incluindo espécies usadas para alimentação, vestuário e para fins medicinais

da população. Inclusive, registram-se diversos saberes provenientes do senso comum dessas populações sobre o uso medicinal de diversas plantas encontradas no dia a dia dessas comunidades (Reis *et al.*, 2023).

2.6.1 *Gymneia platanifolia*

Diante dessa riqueza natural, destaca-se a família Lamiaceae, caracterizada pela presença de corola bilabiada em suas plantas e que agrega diversas plantas aromáticas, cujas propriedades são interessantes à indústria cosmética, farmacêutica, à medicina, à culinária e à agricultura. Diversas atividades biológicas apresentam-se relacionadas à aplicação de seus óleos essenciais: atividade anti-inflamatória, antiviral, antioxidante, analgésica, antifúngica, inseticida, antidiabética, entre outras propriedades (Ramos da Silva *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021).

A subtribo *Hyptidinae* da família *Lamiaceae* engloba 19 gêneros, incluindo *Gymneia* (Benth.) Harley & J.F.B.Pastore (Rocha, 2022). Os componentes vegetais pertencentes à *Gymneia platanifolia* (Mart. ex Benth) Harley & J.F.B. (conhecida antes da revisão taxonômica como *Hyptis platanifolia*) mostram-se um possíveis reagente na síntese das AgNps, com base na possibilidade de utilização de seus fitoquímicos (α -farneseno e γ -bisaboleno) como redutores no processo de formação destas (Oliveira *et al.*, 2011). Além disso, ela é uma planta perene endêmica do Nordeste do Brasil (Araújo *et al.*, 2005) e demonstra potencial antimicrobiano contra bactérias como *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella choleraesuis*; e fungos como *Candida albicans* (Oliveira *et al.*, 2011).

Portanto, a planta *Gymneia platanifolia* apresenta-se como alternativa para a produção biotecnológica e a atual pesquisa a respeito da utilização desta planta na síntese de AgNps, aliada a uma possível prospecção futura em produtos de biotecnologia, pode valorizar a riqueza natural do semi-árido brasileiro, e assim, chamar atenção para alguns pontos relacionados à *Gymneia platanifolia*. Um deles é sobre a possibilidade de incremento da economia local por meio da inovação biotecnológica e toda atividade econômica vinculada a sua produção, comércio e distribuição, além dos benefícios vinculados à utilização direta do produto em setores como a farmacêutica e alimentação. Além disso, a pesquisa também pode ressaltar a necessidade de cuidado e preservação das reservas naturais nordestinas, detentoras de tão rica biodiversidade.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a ação antibacteriana das nanopartículas de prata sintetizadas com extrato aquoso das partes aéreas da espécie *Gymneia platanifolia*.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Otimizar a síntese das AgNps de acordo com a variação dos parâmetros físico-químicos: concentração do extrato aquoso da planta, pH do extrato aquoso da planta, proporção entre os reagentes e tempo de agitação durante a reação de síntese das AgNps.
- Caracterizar as nanopartículas com as técnicas: Espectroscopia UV-vis, Espalhamento de Luz Dinâmico, Potencial Zeta e Microscopia Eletrônica;
- Verificar in vitro a ação antibacteriana das AgNps.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA E ARMAZENAMENTO DA PLANTA

As folhas e caules de plantas da espécie *Gymneia platanifolia* expostos na Figura 15, foram coletados no período da manhã do dia 18 de julho de 2023 no campus da Universidade Estadual de Feira de Santana, localizadas nas coordenadas de latitude/longitude -12.1979840/-38.9667470. O número do cadastro no SisGEN é AC1A762 e o título é “Atividade antimicrobiana e citotoxicidade de nanopartículas de prata sintetizadas com extrato de *Hyptis platanifolia* em fungos e bactérias”. Ressalta-se que a planta tinha o nome científico citado acima (*Hyptis platanifolia*) antes da revisão taxonômica, que a renomeou para *Gymneia platanifolia*.

A espécie *Gymneia platanifolia* (Mart. ex Benth) Harley & J.F.B. está registrada no herbário da UEFS, tendo sido coletada no Campus da Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia, Brasil, nas coordenadas de latitude -12.2666997909546 e longitude -38.9667015075684.

Após a coleta, as folhas e caules foram depositados em sala à temperatura ambiente para secagem natural, descritas na Figura 16. Após secas, estas partes aéreas da planta foram moídas e armazenadas em ambiente refrigerado.



Figura 15: Partes aéreas da planta *Gymneia platanifolia* coletadas no campus da Universidade Estadual de Feira de Santana

Fonte: Elaboração do Autor.



Figura 16: Partes aéreas coletadas da planta em secagem natural (temperatura ambiente) em local fechado

Fonte: Elaboração do Autor

4.2 OTIMIZAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

4.2.1 Otimização de concentração de Extrato

Amostras de solução do extrato da *Gymneia platanifolia* foram produzidas nas concentrações de 0,5% e 1%. Estas amostras foram utilizadas na síntese de AgNps, e seguinte mensuração em espectroscopia UV-vis.

4.2.2 Otimização do pH do extrato

Amostras da solução do extrato da planta foram ajustadas em pHs distintos com a utilização de Hidróxido de Cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Após estes ajustes, foram realizadas sínteses de AgNps, utilizando-se amostras do extrato com pH em 9, 10 e 11, sendo, em seguida, realizadas as mensurações destas AgNps em espectroscopia UV-vis.

4.2.3 Otimização do tempo de agitação

Soluções obtidas da reação entre a solução do nitrato de prata com a solução do extrato da planta foram sintetizadas sob agitação magnética nos tempos de 0, 5 e 10 min. Após estas sínteses, foram realizadas mensurações por espectroscopias UV-vis.

4.2.4 Otimização das proporções entre os reagentes e UV-Vis

Soluções obtidas da reação entre a solução do nitrato de prata com a solução do extrato da planta foram sintetizadas sob as proporções de 5:15, 10:10 e 15:15 (extrato: solução) de AgNO_3 . Após as sínteses, foram realizadas mensurações por espectroscopias UV-vis.

4.3 SÍNTESE DAS AGNPS

As AgNps foram sintetizadas após o extrato da planta ter seu pH corrigido para 10, utilizando-se hidróxido de sódio (NaOH). A síntese foi realizada pela reação entre o extrato aquoso de *Gymneia platanifolia* em concentração de 1% adicionado à solução de nitrato de prata (AgNO_3) a 1mM, na proporção de volume de 5:15, respectivamente.

Realizou-se a síntese sob agitação magnética constante à temperatura de 80°C por 5 minutos.

4.4 ESPECTROSCOPIA UV-VIS

A espectroscopia UV-visível foi realizada utilizando-se o equipamento de Lambda 265 (PerkinElmer). Os espectros de absorção foram obtidos dentro do intervalo de comprimento de onda de 200nm a 800nm.

4.5 POTENCIAL ZETA E DLS

A carga da superfície das AgNps foi medida pelo Potencial Zeta. O comprimento médio das AgNps, assim como a distribuição desse comprimento, foi medido por Espelhamento Dinâmico de Luz (DLS), sob utilização do aparelho DLS Zetasizer Advance Series (Malvern Panalytical).

4.6 MICROSCOPIA ELETRÔNICA

A Microscopia eletrônica de transmissão (TEM) foi realizada utilizando um microscópio modelo JEM-2800 (JEOL USA Inc., Peabody, EUA), operando a 200 kV. Essa técnica permitiu a determinação precisa do tamanho, forma e características cristalográficas da distribuição das AgNps. As imagens foram obtidas nos modos de feixe paralelo e de difração.

As AgNps foram depositadas em uma grade de TEM de cobre, revestida com formvar e carbono, a partir de uma suspensão contendo AgNps.

4.7 ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

As cepas padrão utilizadas foram obtidas da Coleção de Culturas de Microrganismos da Bahia (CCMB), vinculada à Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), sendo elas: *Staphylococcus aureus* CCMB262 (bactéria Gram-positiva) e *Escherichia coli* CCMB261 (bactéria Gram-negativa). Os inóculos bacterianos foram preparados conforme o método de suspensão direta de colônias, segundo o Clinical and Laboratory Standards Institute – CLSI (2012), com modificação. Foram selecionadas de 3 a 5 colônias isoladas de

cada cepa, cultivadas em ágar Müeller-Hinton e suspensas em 20 mL de solução salina a 0,85% em tubos Falcon, com turbidez ajustada para 0,5 na escala de McFarland utilizando espectrofotômetro.

A atividade antimicrobiana das nanopartículas de prata (AgNPs) foi determinada por meio da técnica de microdiluição em placa (Figura 14), para estimativa da Concentração Inibitória Mínima (CIM) e da Concentração Bactericida Mínima (CBM), conforme protocolos e adaptações propostas pelo CLSI, com modificações (2012). Para a determinação da CIM, foram utilizados microplacas de 96 poços (fabricante KASVI), nos quais foram adicionados 100 µL de caldo Müeller-Hinton (1x) e 100 µL da solução de AgNPs, a qual foi submetida à diluição seriada em oito concentrações: 214 µg/mL, 107 µg/mL, 53,5 µg/mL, 26,75 µg/mL, 13,375 µg/mL, 6,6875 µg/mL, 3,34375 µg/mL e 1,671875 µg/mL. Em seguida, adicionaram-se 20 µL da suspensão bacteriana padronizada. As placas foram homogeneizadas e incubadas em estufa a 37 °C por 24 horas. Após esse período, foi adicionado 20 µL de solução de resazurina a 0,1% em cada poço, a placas foram incubadas em estufa durante um período de 1 hora, após esse período foram retiradas para leitura visual. A coloração azul da resazurina visualizada nos poços indicou ausência de crescimento bacteriano (atividade inibitória), enquanto as colorações rosa ou lilás indicaram crescimento (ausência de inibição).

Para a determinação da CBM, alíquotas de 10 µL foram retiradas dos poços que mostraram inibição e semeadas em placas de Petri contendo ágar Müeller-Hinton. As placas foram incubadas a 37 °C por mais 24 horas para observação de crescimento bacteriano. A ausência de crescimento indicou efeito bactericida das AgNPs, enquanto o crescimento indicou efeito apenas bacteriostático e/ou ausência de efeito inibitório.

Como controles foram utilizados 20 µg dos antibióticos gentamicina 20 mg/mL e cloranfenicol 100 mg/mL. Também foram utilizados poços apenas com o meio e os inóculos bacterianos e poços apenas com o meio de cultura, para verificar a esterilidade do mesmo. Todas as amostras e controles foram testados em triplicatas.

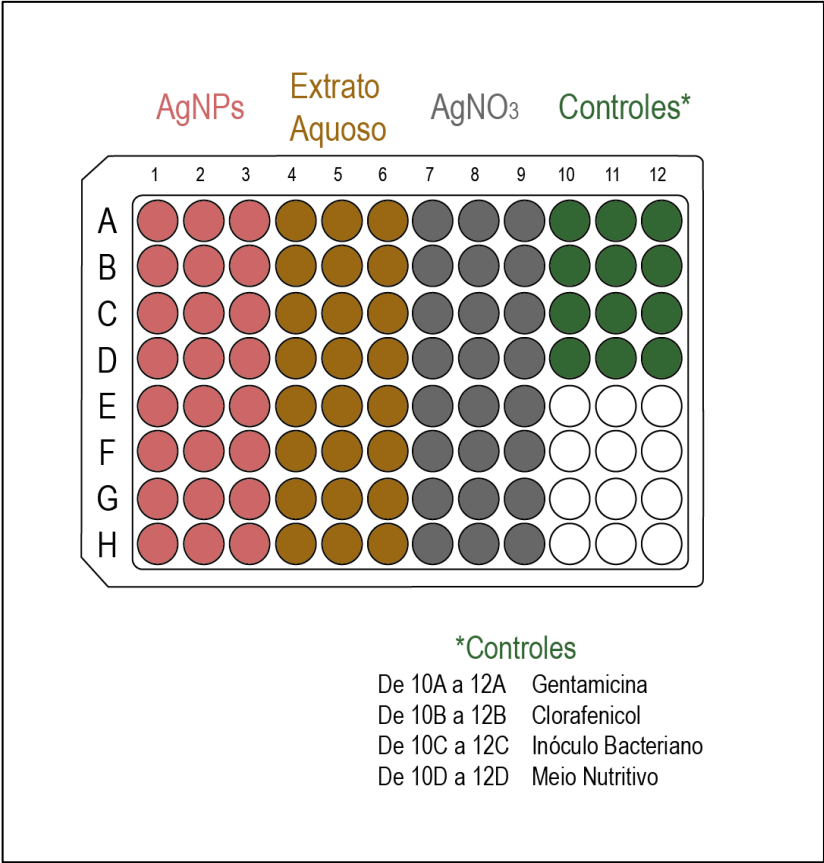


Figura 14: Espelho do Teste de CIM realizado através da microdiluição seriada das AgNps (rosa), Extrato aquoso da *Gymneia platanifolia* (marrom-claro), AgNO₃ (prata) e controles (verde)

Fonte: Elaboração do Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A otimização das condições de síntese das AgNps iniciou-se com a mensuração da absorbância das moléculas que compõem o extrato da planta. Este resultado não indicou picos de absorbância em faixa de comprimento de onda condizentes com a presença de AgNps, evitando o viés de interpretação sobre a solução de AgNps a ser sintetizada.

Durante o processo de otimização da síntese das AgNps, realizou-se o monitoramento destas utilizando-se Espectroscopia UV-vis, cujos resultados indicados em gráficos foram interpretados. É importante ressaltar que o gráfico revela como a substância em solução absorve radiação eletromagnética em cada comprimento de onda. A posição da curva nos eixos x e y do gráfico aponta, respectivamente, para diferenciação da estrutura molecular da amostra e sua concentração.

5.1 RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DA PROPORÇÃO DOS REAGENTES

Observou-se a formação das AgNps em reações que utilizaram as proporções de volume entre o extrato de *Gymneia platanifolia* e a solução de AgNO_3 , respectivamente, em 5:15, 10:10 e 15:5. Estas soluções apresentaram diferentes absorbâncias por comprimentos de onda (Figura 17).

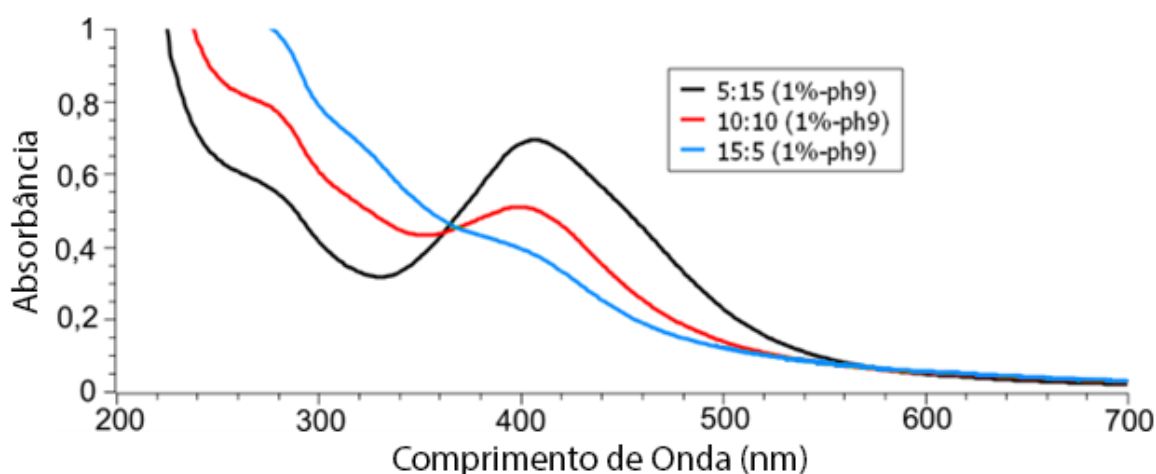


Figura 17: Espectroscopia UV-visível das AgNps sintetizadas nas proporções 5:15, 10:10 e 15:5 entre o extrato de *Gymneia platanifolia* e solução de AgNO_3

Fonte: Elaboração do Autor.

As AgNps sintetizadas na proporção 5:15 apresentaram curva em gráfico de absorvância por comprimento de onda, conforme descrito na Figura 16, compatível com maior concentração de AgNps. A solução sintetizada pela reação do extrato de *Gymneia platanifolia* e AgNO_3 na proporção de 15:5 não apresentou pico em gráfico de espectroscopia UV-vis, indicando a não formação de AgNps.

5.2 RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO EXTRATO

Para a otimização da concentração do extrato da planta, observou-se as concentrações de 0,5% e 1%. Para evitar problemas na análise, padronizou-se provisoriamente o pH em 9 e a proporção dos reagentes em 5:15 para essas amostras testadas. As AgNps apresentaram diferentes absorvâncias, conforme a mudança da concentração do extrato da planta *Gymneia platanifolia* em 0,5% e 1%, como mostra o gráfico da Figura 18.

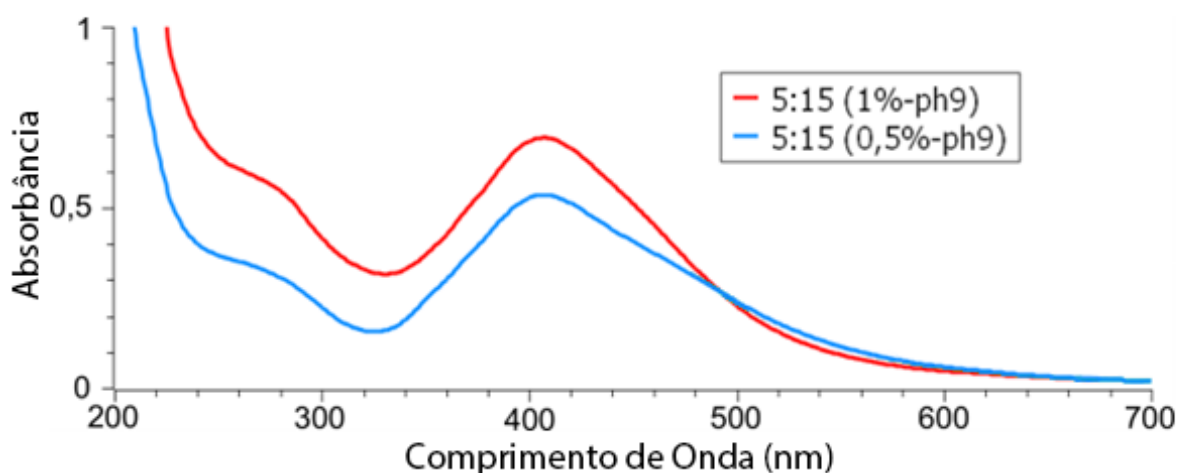


Figura 18: Espectroscopia UV-visível das AgNps sintetizadas utilizando extrato da planta em 0,5% e 1%
Fonte: Elaboração do Autor.

Considerando a interpretação do gráfico de espectroscopia UV-vis, verifica-se uma melhor formação de AgNps com extrato em 1%, já que, a posição do pico no gráfico de absorção de radiação UV-vis pelas AgNps confere a estas maior absorvância em faixa de comprimento de onda, condizente com a estrutura molecular das AgNps (Aziz *et al.*, 2017; Jabini *et al.*, 2022).

5.3 RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE AGITAÇÃO

A otimização do tempo de agitação dos reagentes da síntese em 0, 5 e 10 minutos implicou em diferentes resultados de absorbância da substância, assim como as soluções apresentaram-se distintas visualmente (Figuras 19 e 20).

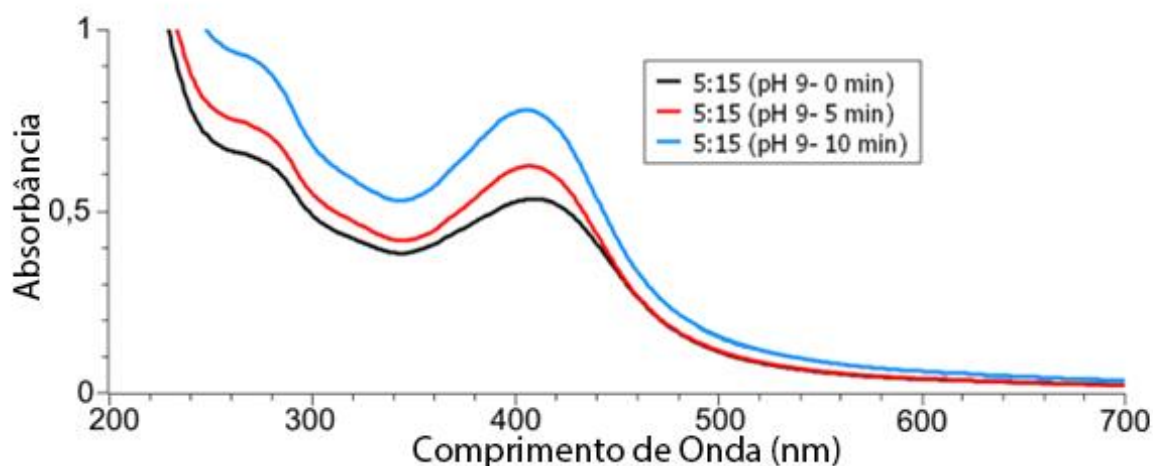


Figura 19: Espectroscopias UV-visível das AgNps sintetizadas sob tempo de agitação de 0, 5 e 10 minutos

Fonte: Elaboração do Autor.



Figura 20: Amostras das AgNps, sob iluminação natural, em ordem crescente de tempo de agitação dos reagentes da síntese extrato da planta *Gymneia plataniifolia* e as AgNps agitadas por 5 min, 10 min

Fonte: Elaboração do Autor.

Diante das AgNps obtidas, escolhe-se o tempo de 5 minutos afim de se reduzir o tempo de síntese, considerando que este tempo produziu boas AgNps, embora as AgNps sintetizadas em 10 minutos de agitação apresentem gráfico de maior pico. As AgNps sintetizadas apresentaram também diferentes cores de solução, apresentando coloração mais escura proporcionalmente ao tempo de agitação.

5.4 RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO DO PH DO EXTRATO UTILIZADO COMO REAGENTE

A otimização do processo de síntese seguiu com a variação do pH do extrato em 9, 10 e 11. As diferentes sínteses de AgNps variaram em absorbância de radiação e constatou-se, por meio da interpretação das linhas do gráfico de absorbância por comprimento de onda, melhores estabilidades e concentrações de AgNps nas sínteses que utilizaram extrato em pH 10 e pH 11, de acordo ao gráfico da Figura 21.

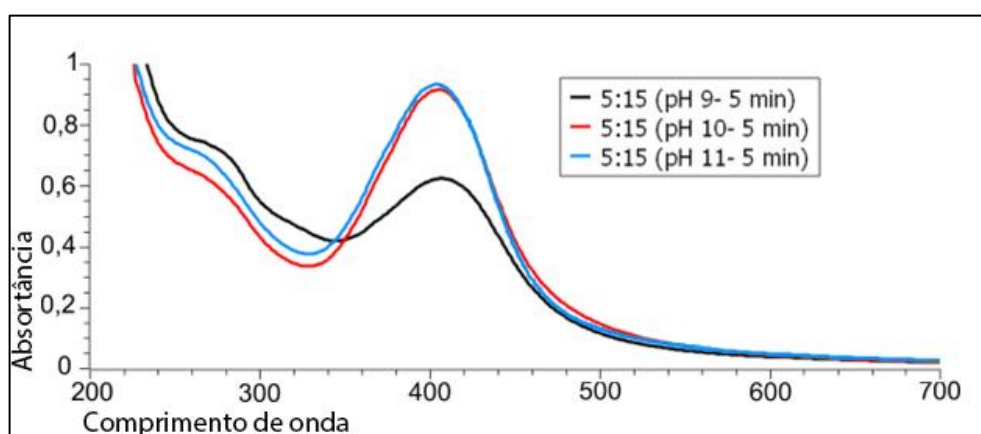


Figura 21: Gráfico das espectroscopias UV-visível das AgNps sintetizadas utilizando extrato da planta em pHs de 9, 10 e 11

Fonte: Elaboração do Autor.

Com base nos resultados obtidos, infere-se que a espectroscopia UV-vis é um método simples e conveniente de caracterização primária das AgNps, o qual indica para cada tipo de AgNps uma absorbância específica, dependente do tamanho das partículas e interações químicas (Rahuman *et. al.*, 2022). Assim, a padronização do protocolo para síntese de AgNps, utilizando-se Espectroscopia UV-vis permite comparar a concentração e uniformidade das AgNps formadas.

A otimização da concentração dos reagentes da síntese é etapa fundamental para formação de melhores AgNps. A concentração do extrato da planta e fitoquímicos influenciam as propriedades físico-químicas das AgNps. Maiores concentrações do extrato tendem a formar AgNps menos agregadas, enquanto as menores concentrações formam AgNps mais agregadas e, portanto, de tamanho médio maior (Akpobolokemi *et al.*, 2025) (Sunita; Palaniswamy, 2017). A literatura indica também que maiores concentrações do reagente metálico e do íon metálico, por consequência, tendem a produzir AgNps maiores e mais aglomeradas, ao passo que menores concentrações da prata tendem a produzir AgNps

menores e mais estáveis (Kurra *et al.*, 2025). Os resultados do trabalho atual referentes à otimização da concentração do extrato e proporção entre os reagentes da síntese corroboram com o que foi apresentado na literatura.

Seguiu-se, dessa forma, com a avaliação do tempo de agitação para 0 min, 5 min e 10 min. É possível observar a formação da cor visível nas soluções de AgNps em cada tempo de agitação avaliado, notando-se uma coloração mais escura proporcional ao tempo (Figura 18). A alteração da cor da solução, tendendo ao escurecimento com o avanço do tempo de agitação acontece por vibração através do estímulo da *ressonância de plasmons de superfície* (SPR) (Alzahrani, 2020; Sreelekha *et al.*, 2021), além de ser indicativa da síntese das AgNps (Kedi *et al.*, 2018) (Singh; Gaud; Jaybhaye, 2020). SPR é um fenômeno característico das nanopartículas metálicas, em que os elétrons de condução na superfície das nanopartículas oscilam em resposta à luz incidente, causando uma absorção específica de luz que resulta na mudança de cor observada (Ismail; Mubarak; Al-Haddad, 2019) (Miranda *et al.*, 2022). A otimização realizada no trabalho atual, selecionando o tempo de agitação de 5 minutos, corrobora também com trabalhos que correlacionam menores tempos de agitação a um nível maior de absorbância e nanopartículas de menor tamanho (Maarebia *et al.*, 2019) (Balavandy *et al.*, 2014). Por exemplo, é demonstrado uma melhor absorbância pelas AgNps sintetizadas com AgNO₃ na concentração de 1mM sob tempo de agitação de 120 min, em detrimento do uso de AgNO₃ na concentração de 1.5 mM sob tempo de agitação de 150 minutos, ambos sem uso de agentes estabilizadores (Maarebia *et al.*, 2019). Outro exemplo, indica síntese de AgNps menores, sob tempo de agitação de 36h, comparadas a 48h e 72h (Balavandy *et al.*, 2014).

A última variável testada foi o pH, tendo o pH 10 sido avaliado e selecionado para formulação das AgNps. O trabalho atual corrobora com (Anigol; Charantimath; Gurubasavaraj, 2017) (Guzmán *et al.*, 2022), que relaciona menores tamanhos de AgNps a pHs mais elevados, em uma relação de inversa proporção. De acordo com o autor, conforme a solução se torna mais alta, as AgNps manifestam pico mais estreito e maior absorbância em espectroscopia. O trabalho atual também corrobora as AgNps possuírem maior comprimento em pH ácido, devido ao processo de formação de nanocristais ser mais lento nessas condições (Chitra; Annadurai, 2014).

Portanto, foram testadas variáveis que compõem o processo de síntese de AgNps, através do aprimoramento desse método, definiu-se como melhores condições de síntese: a utilização de extrato aquoso da planta *Gymneia platanifolia* na concentração de 1% com

solução de nitrato de prata em 1mM, na proporção de volume de 5:15, sendo agitados constantemente por 5 minutos sob temperatura de 80°C.

5.5 RESULTADOS DA SÍNTESE DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA COM EXTRATO DE GYMNEIA PLATANIFOLIA

Após a síntese das AgNps por meio da fórmula otimizada, observou-se alteração na cor da solução, que passou de marrom claro para marrom escuro, conforme a Figura 22. Esta alteração foi a primeira evidência que identifica a síntese de AgNps (Alzahrani, 2020; Kumar *et al.*, 2020; Miranda *et al.*, 2022). Esta variação na cor ocorre devido à redução dos íons Ag^+ a Ag^0 , além da estimulação da SPR (Jabini *et al.*, 2022; Susilowati *et al.*, 2023).

Em contraste, a alteração da intensidade da cor, que também pode ser observada durante uma reação de síntese de AgNps é proporcional à concentração destas nanopartículas (Jabini *et al.*, 2022). Além disso, a formação de nanopartículas de prata (AgNps) também foi indicada por espectroscopia UV-visível, com pico de absorbância em 408 nm, enquanto o extrato vegetal não apresentou pico nesta faixa de comprimento de onda, conforme a Figura 23. Isto confirma que a absorção observada se deve às AgNps formadas, e não aos componentes do extrato.



Figura 22: Extrato da planta *Gymneia platanifolia* na concentração de 1%, Solução de AgNO_3 e Solução de AgNps no momento da sua síntese

Fonte: Elaboração do Autor.

A absorbância máxima observada das AgNps em 408 nm, também descrito na Figura 23, pertence à faixa típica de 400–500 nm, a qual é derivada da ressonância plasmônica de superfície consistente com a presença de AgNps (Agustina; Handayani; Imawan, 2021). Este dado corrobora com a literatura presente, na qual picos de absorbância para AgNps têm sido relatados em diferentes comprimentos de onda, como 400-420 nm (Jabini *et al.*, 2022) e até

430 nm (Aziz *et al.*, 2017), dependendo das condições específicas de síntese e das propriedades das partículas formadas.

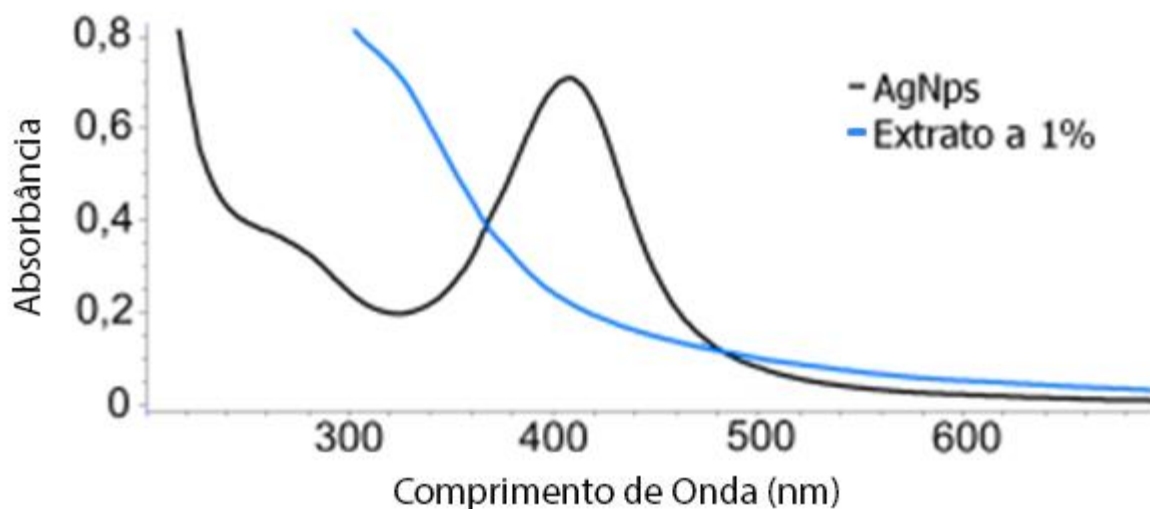


Figura 23: Espectroscopia UV-vis das AgNps e extrato aquoso de *Gymneia platanifolia*
Fonte: Elaboração do Autor.

5.6 RESULTADOS DE POTENCIAL ZETA

A medição do potencial zeta das AgNps apresentou valor de -46,92 mV e a análise de espalhamento dinâmico de luz (DLS) caracterizou o comprimento hidrodinâmico das AgNps em 79,88 nm (Figura 24). É fundamental conhecer essas propriedades, já que o Potencial Zeta e o Diâmetro Hidrodinâmico das AgNps possuem implicações no efeito biológico destas em um organismo, que incluem a dissolução destas AgNps, sua toxicidade celular, além da capacidade de carrear e liberar moléculas de ação farmacológica (Bhattacharjee, 2016).

O Potencial Zeta indica a carga superficial de uma partícula e a concentração de íons presentes em uma solução coloidal e é decisivo para a agregação ou dispersão dessas partículas (Radzikowska-Büchner *et al.*, 2023; (Tang; Zheng, 2018). O Potencial Zeta das AgNps sintetizadas corrobora com a literatura, que afirma que um valor de potencial zeta significativamente negativo ou positivo (acima de +30mV ou abaixo de -30mV) é indicativo de uma alta repulsão eletrostática entre as partículas, evitando a agregação e garantindo uma maior estabilidade em solução (Ahmad *et al.*, 2017; Restrepo; Villa, 2021).

Essa estabilidade é crucial para aplicações biológicas, em que a agregação de nanopartículas pode reduzir a eficácia e aumentar a toxicidade (Bhattacharjee, 2016; Radzikowska-Büchner *et al.*, 2023; Tang; Zheng, 2018).

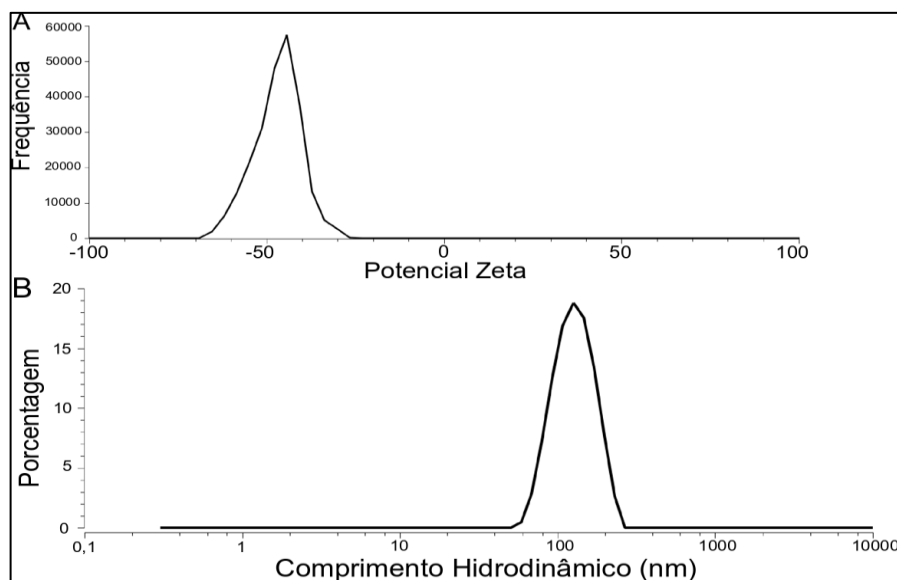


Figura 24: (A) Potencial ZETA da superfície das AgNps. (B) Diâmetro Hidrodinâmico das Nps por DLS
Fonte: Elaboração do Autor.

5.7 RESULTADOS DE MICROSCOPIAS ELETRÔNICAS

A TEM indica AgNps de distância interplanar de 0,236 nm na direção $\langle 1\ 2\ \bar{1} \rangle$ que possuíam, em maior frequência, diâmetro próximo a 20 nm, conforme a Figura 25A. Além disso, as AgNps possuem uma estrutura cristalina bem ordenada e de alta qualidade, além de estrutura definida como “face-centered cubic” (FCC). A Figura 25B também mostra as AgNps, porém em uma menor ampliação. A Figura 25C contem o histograma com a distribuição dos tamanhos das AgNps sintetizadas, sendo o diâmetro mais frequente pertencente à faixa de 10 a 20 nm.

Difração de Elétrons de Área Seleccionada (SAED) é uma técnica experimental cristalográfica realizada através do microscópio eletrônico de transmissão, que identificou um eixo de zona na direção $[1\ \bar{1}\ 1]$ nas AgNps do atual trabalho, conforme demonstrado pela Figura 26.

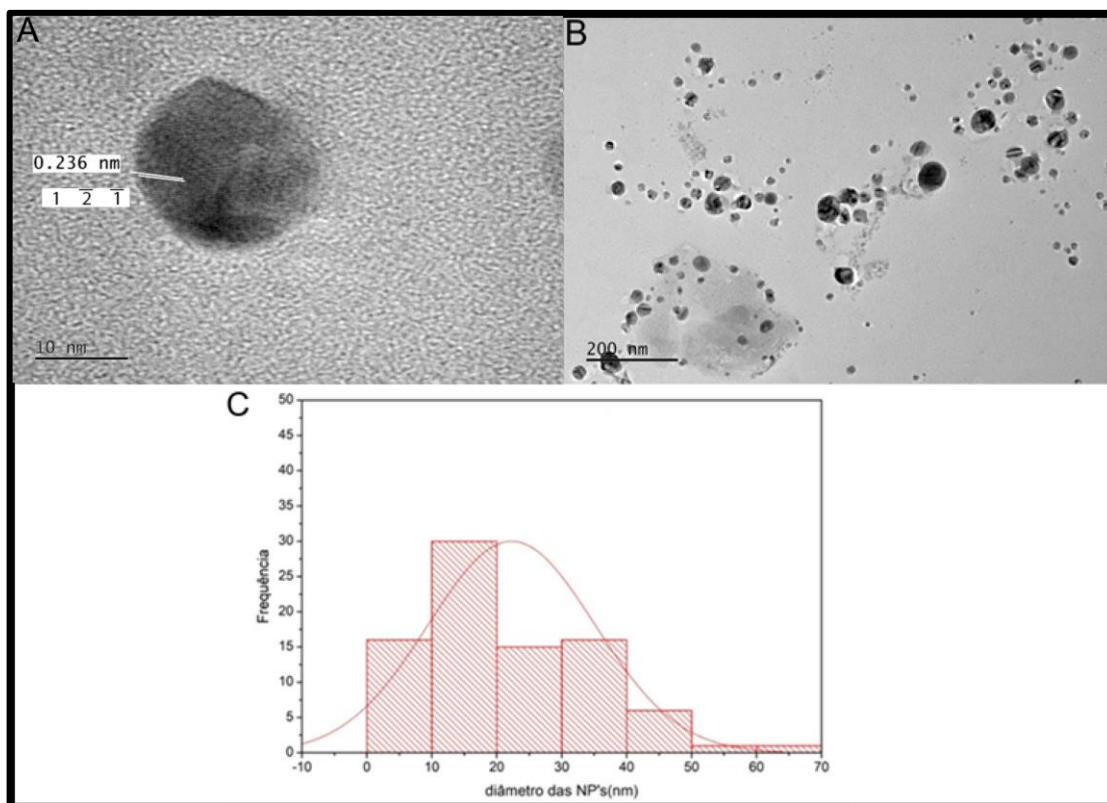


Figura 25: A) Microscopia Eletrônica de Transmissão de Alta Resolução da Nanopartícula de Prata sintetizada a partir do extrato da *Gymneia platanifolia*; B) Microscopia Eletrônica de Transmissão de distribuição de nanopartículas de prata; C) Histograma da distribuição de diâmetros de nanopartículas de prata
Fonte: Elaboração do Autor.

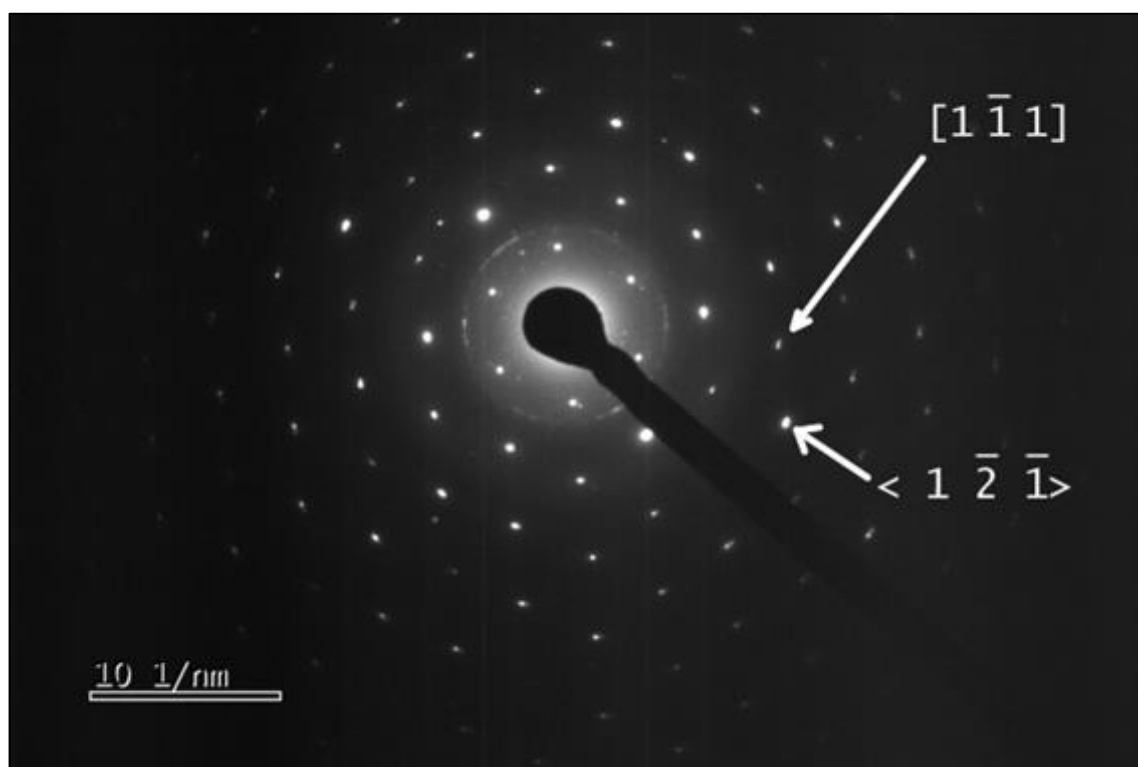


Figura 26: Difração de Elétrons de Área Seleccionada (SAED)
Fonte: Elaboração do Autor.

A distância interplanar indicada pelo TEM confirma a elevada cristalinidade das nanopartículas, indicando um controle preciso sobre a morfologia e a estrutura das partículas formadas. A distância interplanar e a estrutura FCC são características importantes para determinar as propriedades ópticas e eletrônicas das AgNps (Singh Golia; Singh; Arora, 2022). A TEM indica que as AgNps deste trabalho possuem tamanho compatível com outras AgNps (Rauwel *et al.*, 2015), além de que estas são interessantes pela sua uniformidade de forma e quantidade de AgNps pertencentes à faixa de diâmetro que apresenta atividade antimicrobiana, conforme é indicado pelo histograma de distribuição de diâmetro das AgNps, que exibe frequência de AgNps de diâmetro pertencente a faixa entre 0 e 20 nm (Liao *et al.*, 2019).

5.8 RESULTADOS DE ATIVIDADE ANTIMICROBIANA

Os ensaios antibacterianos realizados com AgNPs em diluições seriadas evidenciaram uma atividade antimicrobiana dose-dependente. As AgNPs apresentaram efeito inibitório a partir da concentração de 53,5 µg/mL frente às cepas padrão de *Staphylococcus aureus* (CCMB262) e *Escherichia coli* (CCMB261), conforme demonstrado nas Figuras 27 e 29, a seguir. A solução de AgNO₃, utilizada como controle, exibiu atividade inibitória contra ambas as cepas na concentração mínima de 26,75 µg/mL, conforme os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Comparação da atividade antibacteriana entre as AgNps sintetizadas, extrato vegetal de *Gymneia platanifolia*, solução AgNO₃ mostrada com base em CIM e CBM em µg/mL

Microrganismos	Extrato aquoso de <i>Gymneia platanifolia</i>	AgNO ₃ (µg/mL)	AgNps (µg/mL)	AgNps (µg/mL)
	CIM	CIM	CIM	CBM
<i>Escherichia coli</i>	-	26,75	53,5	53,5
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	26,75	53,5	53,5

Fonte: Elaboração do Autor.

A eficácia antimicrobiana das AgNPs contra *Staphylococcus aureus* observada neste estudo encontra-se em consonância com valores de concentração inibitória mínima (CIM) descritos na literatura. As AgNps sintetizadas apresentam melhores indicadores comparadas às CIM de 625 µg/mL (Parverkar *et al.*, 2020), 50000 µg/mL (Gomaa, 2017) e 500 µg/mL (Hamouda *et al.*, 2019). Por outro lado, as AgNps sintetizadas apresentam piores resultados de CIM em relação as AgNps sintetizadas a partir das folhas de *Gardenia thailandica* que possuem indicadores de 4 a 64 µg/mL (Attallah *et al.*, 2022). A atividade bactericida das AgNPs foi evidenciada pelos testes de concentração bactericida mínima (CBM). A

concentração de 53,5 µg/mL foi capaz de eliminar o crescimento bacteriano, indicando efeito bactericida, conforme ilustrado na Figura 28.

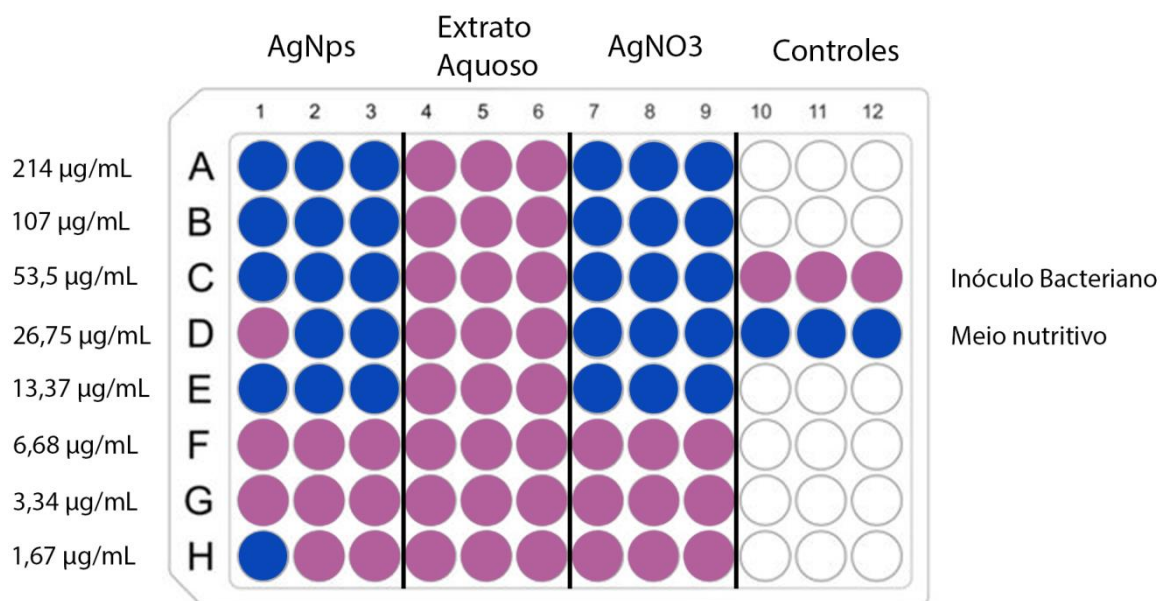


Figura 27 – Teste Concentração Inibitória Mínima da *Staphylococcus aureus*

Fonte: Elaboração do Autor.

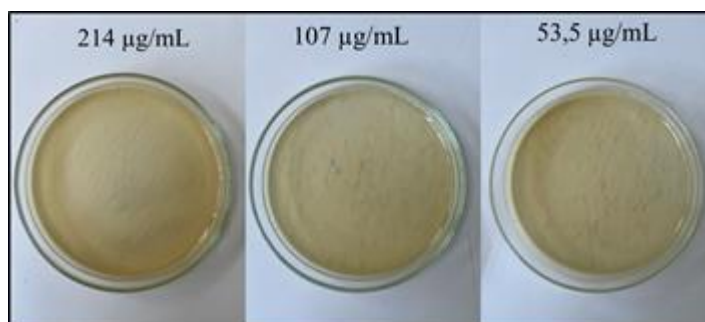


Figura 28 – Teste de Concentração Bacteriana Mínima da *Staphylococcus aureus* nas concentrações de 214 µg/mL, 107 µg/mL, 53,5 µg/mL, respectivamente

Fonte: Elaboração do Autor.

Em relação à *Escherichia coli*, os resultados também corroboram estudos prévios, inclusive, apresentando CIM mais satisfatórias do que as apresentadas em literatura variando entre 310 µg/mL e 50000 µg/mL, de AgNps sintetizadas por diferentes métodos (Ashmore *et al.*, 2018; Gomaa, 2017; Hamouda *et al.*, 2019). Entretanto, as AgNps sintetizadas mostram resultados de CIM inferiores quando comparados às CIM de 3,38 µg/mL a 54 µg/mL de AgNps sintetizadas pela redução do cátion $[Ag(NH_3)_2]^+$ derivado da maltose (Hochvaldová *et al.*, 2024). Para *E. coli*, a CBM foi de 53,5 µg/mL, conforme demonstrado na Figura 30.

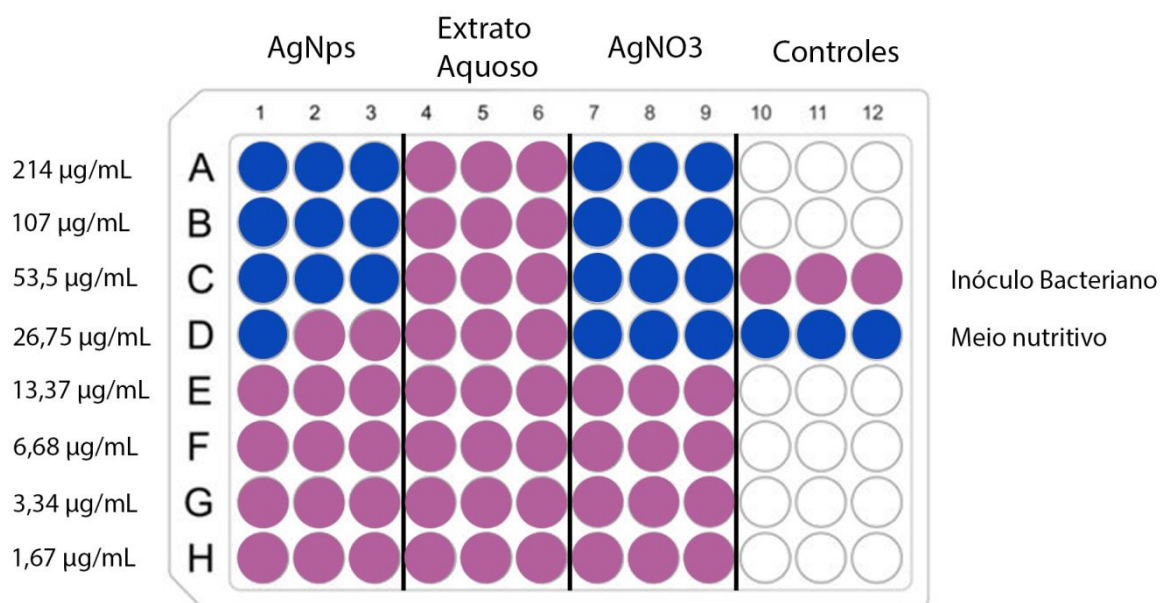


Figura 29 – Teste de Concentração Inibitória Mínima da *Escherichia coli*
Fonte: Elaboração do Autor.

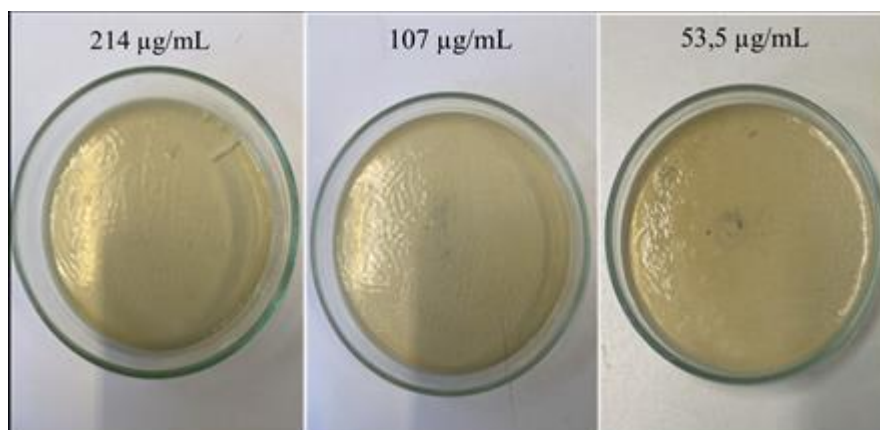


Figura 30 – Teste de Concentração Bacteriana Mínima da *Escherichia coli* nas concentrações de 214 µg/mL, 107 µg/mL, 53,5 µg/mL, respectivamente.
Fonte: Elaboração do Autor.

A solução de AgNO₃ também apresentou atividade antimicrobiana contra ambas as cepas na concentração de 26,75 µg/mL, mostrando-se superior às concentrações utilizadas da AgNps. Embora os índices de inibição bacteriana mostrem-se favoráveis à utilização da AgNO₃ como antibacteriano, a utilização das AgNps pode ser mais viável minimizando efeitos tóxicos relacionados ao uso da prata. Portanto, são necessários novos estudos a fim de aprofundar o conhecimento sobre as reações de toxicidade das AgNps.

O estudo atual possui a vantagem de utilizar como reagente uma planta abundante no local em que foi encontrada, sendo de fácil colheita. Porém, o estudo limita-se por depender

das condições sazonais climáticas que podem alterar a estrutura molecular do extrato da planta em diferentes momentos do ano. Além disso, a síntese ainda pode ser otimizada em outras condições diferentes das testadas neste trabalho, implicando em diferentes tamanhos e formas das AgNps e, por consequência, outros resultados antimicrobianos. Vale a pena ressaltar que os testes antibacterianos foram realizados com cepas padrão e, dessa maneira, não refletem em totalidade a aplicação destas AgNps em contexto de cepas resistentes. Então, as AgNps sintetizadas no trabalho atual podem acarretar em resultados excelentes diante do problema da RAM, necessitando de mais testes antimicrobianos para confirmação desse potencial.

As informações a serem ainda obtidas são de suma importância para uma possível prospecção das AgNps sintetizadas, podendo resultar em medicamentos a serem aplicados em diversos contextos, por exemplo, na pele humana, em caso de infecção por *Staphylococcus aureus*, ou até mesmo sobre infecções no trato gastrointestinal por *Escherichia coli*. Além da medicina, as AgNps podem ser aplicadas em outras atividades, como a agricultura e sensores biológicos (Natsuki, 2015).

6 CONCLUSÃO

Em suma, para fins de otimização da fórmula de síntese das AgNps, os parâmetros de proporção entre os reagentes; concentração e pH do extrato; e tempo de agitação magnética durante a reação foram avaliados. Definiu-se o método na utilização do extrato aquoso de *Gymneia platanifolia* em 1% de concentração e pH 10 (corrigido com solução de NaOH), ao qual é adicionado solução de AgNO₃, na proporção de 1:3, agitada magneticamente por 5 minutos na temperatura de 80 °C.

Dessa forma, as AgNps foram sintetizadas por um método ecológico, baseado na utilização de componentes da planta *Gymneia platanifolia* como redutores de íons Ag⁺. A formação de AgNps foi identificada por UV-visível e caracterizada por TEM, Potencial Zeta e DLS.

Os resultados obtidos demonstraram que as nanopartículas de prata sintetizadas a partir do extrato de *Gymneia platanifolia* apresentaram atividade antibacteriana frente as cepas *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, confirmando seu potencial antimicrobiano. No entanto, é importante ressaltar que o extrato vegetal em si não apresentou atividade antibacteriana direta nas condições testadas. Sua função neste estudo foi atuar como agente redutor e estabilizante na síntese verde das AgNPs, sendo, portanto, um componente essencial do processo de obtenção das nanopartículas, e não do efeito biológico final.

A comparação entre as AgNPs e a solução de AgNO₃ revelou que o sal metálico apresentou maior atividade inibitória em menores concentrações, o que já era esperado e é amplamente documentado na literatura. Apesar disso, o uso de AgNPs sintetizadas por métodos verdes apresenta vantagens importantes, especialmente no contexto de aplicações biomédicas futuras. Dentre essas vantagens destaca-se a possibilidade de redução da toxicidade associada ao uso direto de sais metálicos, considerando que as AgNPs tendem a liberar íons de forma controlada e gradual, o que pode minimizar efeitos adversos em organismos e tecidos humanos.

Além disso, este trabalho contribui com evidências do potencial biotecnológico de espécies nativas do Nordeste brasileiro, como *Gymneia platanifolia*, para a síntese de nanomateriais por rotas sustentáveis. Isso abre perspectivas relevantes tanto para o desenvolvimento de novas alternativas terapêuticas no combate à resistência antimicrobiana, quanto para a valorização da biodiversidade regional com foco em soluções economicamente viáveis e ambientalmente seguras.

Por fim, embora os resultados iniciais sejam promissores, destaca-se que a real aplicabilidade clínica das AgNPs sintetizadas somente poderá ser avaliada com a realização de ensaios adicionais, especialmente os testes de citotoxicidade, para validação de sua segurança em sistemas biológicos complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-HADI, A., *et al.* Myco-Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Bioactive Role against Pathogenic Microbes. **Biology**, 12(5), 2023.
- ABOU EL-NOUR, K. M. M. *et al.* Synthesis and applications of silver nanoparticles. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 3, n. 3, p. 135–140, jul. 2010.
- ABUSHAHEEN, M. A. *et al.* Antimicrobial resistance, mechanisms and its clinical significance. **Disease-a-Month**, v. 66, n. 6, p. 100971, jun. 2020.
- AGUSTINA, T. E.; HANDAYANI, W.; IMAWAN, C. The UV-VIS Spectrum Analysis From Silver Nanoparticles Synthesized Using Diospyros maritima Blume. Leaves Extract. **Advances in Biological Sciences Research**, volume 14. Proceedings of the 3rd KOBICongress, International and National Conferences (KOBICINC 2020). Atlantis Press, 2021.
- AHLAWAT, J.F. *et al.* Nanoparticles in Biomedical Applications. In Nanotechnology in the Life Sciences. **Springer Science and Business Media**, (pp. 227–250). 2020.
- AHMAD, A., *et al.* The effects of bacteria-nanoparticles interface on the antibacterial activity of green synthesized silver nanoparticles. **Microbial Pathogenesis**, 102, 133–142, 2017.
- AHMAD, S. *et al.* Green nanotechnology: a review on green synthesis of silver nanoparticles — an ecofriendly approach. **International Journal of Nanomedicine**, v. Volume 14, p. 5087–5107, jul. 2019.
- AKINTELU, S. A.; BO, Y.; FOLORUNSO, A. S. A Review on Synthesis, Optimization, Mechanism, Characterization, and Antibacterial Application of Silver Nanoparticles Synthesized from Plants. **Journal of Chemistry**, v. 2020, p. 1–12, 5 dez. 2020.
- AKPOBOLOKEMI, T. *et al.* Influence of Spinacia oleracea leaf extract concentration on silver nanoparticle formation and evaluation of antimicrobial properties. **RSC Pharmaceutics**, v. 2, n. 2, p. 353–368, 2025.
- ALMUTAIRY, Bandar. Extensively and multidrug-resistant bacterial strains: case studies of antibiotics resistance. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 4 jul. 2024.
- ALZAHIRANI, E. Colorimetric Detection Based on Localized Surface Plasmon Resonance Optical Characteristics for Sensing of Mercury Using Green-Synthesized Silver Nanoparticles. **Journal of Analytical Methods in Chemistry**, v. 2020, p. 1–14, 11 jan. 2020.
- ANIGOL, L.; CHARANTIMATH, J.; GURUBASAVARAJ, P. Organic & Medicinal Chemistry Effect of Concentration and pH on the Size of Silver Nanoparticles Synthesized by Green Chemistry. **Organic and Medicinal Chemistry**, v. 3, n. 5, 2017.
- ANSARI, M. Transport Phenomenon of Nanoparticles in Animals and Humans. **Diffusion Foundations**, 23, 173–186. 2019.
- ANTUNES, F. *et al.* Síntese, caracterização e aplicação de nanopartículas de prata como agentes antimicrobianos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 20–26, 29 out. 2013.

ARAÚJO, E. C. C., LIMA, A. S., NUNES, E. P., & SILVEIRA, E. R. Abietane Diterpenes from *Hyptis platanifolia*. In **J. Braz. Chem. Soc** (Vol. 16, Issue 6B). 2005.

ASHMORE, D., *et al.* Evaluation of *E. Coli* inhibition by plain and polymer-coated silver nanoparticles. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, 60. 2018.

ATTALLAH, N. G. M. *et al.* In Vivo and In Vitro Antimicrobial Activity of Biogenic Silver Nanoparticles against *Staphylococcus aureus* Clinical Isolates. **Pharmaceuticals**, 15. 2022.

AZIZ, Abbas *et al.* Microscopic techniques for nanomaterials characterization: a concise review. **Microscopy Research and Technique**, v. 88, p. 1599–1614, 2025. DOI: 10.1002/jemt.24799.

AZIZ, S. B., *et al.* Investigation of metallic silver nanoparticles through UV-Vis and optical Micrograph techniques. **International Journal of Electrochemical Science**, 12(1), 363–373.2017.

BALAVANDY, S. K. *et al.* Stirring time effect of silver nanoparticles prepared in glutathione mediated by green method. **Chemistry Central Journal**, v. 8, n. 1, 13 fev. 2014.

BARHOUM, A. *et al.* Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. **Nanomaterials**, v. 12, n. 2, p. 177, 6 jan. 2022.

BHATTACHARJEE, S. DLS and zeta potential - What they are and what they are not? In **Journal of Controlled Release** (Vol. 235, pp. 337–351). Elsevier B.V. 2016.

BINDHU, M. R.; UMADEVI, M. Antibacterial and catalytic activities of green synthesized silver nanoparticles. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 135, p. 373–378, jan. 2015.

BOGDANOVIĆ, U. *et al.* Copper nanoparticles with high antimicrobial activity. **Materials Letters**, v. 128, p. 75–78, ago. 2014.

BRUNA, T., MALDONADO-BRAVO, F., JARA, P., & CARO, N. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. In **International Journal of Molecular Sciences** (Vol. 22, Issue 13). MDPI.2021.

CHANDRASEKARAN, Anbumalar; RAMANAN, Ranganathan Nadarajan; SIVARAMAN, Brindha; NAIR, Ranjith Kumar; KUMAR, Ashok. Biogenic Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Piper nigrum* Extract and Their Antibacterial Activity against Multidrug-Resistant Pathogens. **Processes**, [S. l.], v. 11, n. 9, p. 2617, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11092617>.

CHEGINI, Z., *et al.* Antibacterial and antibiofilm activity of silver nanoparticles stabilized with C-phycocyanin against drug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 12, 23 out. 2024.

CHEN, Z. Application of UV-vis spectroscopy in the detection and analysis of substances. **Transactions on materials, biotechnology and life sciences**, v. 3, p. 131–136, 24 mar. 2024.

CHITRA, K.; ANNADURAI, G. Antibacterial Activity of pH-Dependent Biosynthesized Silver Nanoparticles against Clinical Pathogen. **BioMed Research International**, v. 2014, p. e725165, 21 maio 2014.

CHUNG, I.-M. *et al.* Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles: Their Characteristic Properties and Therapeutic Applications. **Nanoscale Research Letters**, v. 11, n. 1, 28 jan. 2016.

DAS, K. P.; J, C. Nanoparticles and convergence of artificial intelligence for targeted drug delivery for cancer therapy: Current progress and challenges. **Frontiers in Medical Technology**, v. 4, 6 jan. 2023.

DE OLIVEIRA, P. F. M. *et al.* Challenges and opportunities in the bottom-up mechanochemical synthesis of noble metal nanoparticles. **Journal of Materials Chemistry A**, v. 8, n. 32, p. 16114–16141, 2020.

DHAND, C. *et al.* ChemInform Abstract: Methods and Strategies for the Synthesis of Diverse Nanoparticles and Their Applications: A Comprehensive Overview. **ChemInform**, v. 47, n. 9, p. no-no, fev. 2016.

DUMAN, H. *et al.* Silver Nanoparticles: A Comprehensive Review of Synthesis Methods and Chemical and Physical Properties. **Nanomaterials**, v. 14, n. 18, p. 1527–1527, 20 set. 2024.

DURÁN, N. *et al.* Nanotoxicologia de nanopartículas de prata: toxicidade em animais e humanos. **Química Nova**, 2018.

FORTA, Marcos Tadeu Ellery; LIMA FILHO, Sebastião Lacerda de; MORAIS FILHO, Manoel Odorico de. Análise de lesões ósseas com auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para detecção de elementos metálicos e determinação de causa mortis. **Revista Tarairiú**, v. 1, n. 24, 2024.

GERICKE, M.; PINCHES, A. Biological synthesis of metal nanoparticles. **Hydrometallurgy**, v. 83, n. 1-4, p. 132–140, set. 2006.

GHAFFAR, N. *et al.* Restoration of Antibacterial Activity of Inactive Antibiotics via Combined Treatment with AgNps. **ACS Omega**, v. 9, n. 12, p. 13621–13635, 14 mar. 2024.

GHOSH, Suman; NANDI, Sumit. A comprehensive review on UV-visible spectroscopy and its application. **International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)**, v. 12, n. 1, p. 1501–1507, jan. 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/383340352>. Acesso em: 29 jul. 2025.

GOMAA, E. Z. Silver nanoparticles as an antimicrobial agent: A case study on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* as models for gram-positive and gram-negative bacteria. **Journal of General and Applied Microbiology**, 63(1), 36–43. 2017.

GOUYAU, J. *et al.* Investigation of Nanoparticle Metallic Core Antibacterial Activity: Gold and Silver Nanoparticles against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 4, p. 2021, 14 fev. 2021.

GUILGER-CASAGRANDE, M.; DE LIMA, R. Synthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Fungi: A Review. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, 22 out. 2019.

GUZMÁN, K. *et al.* Ascorbic Acid-assisted Green Synthesis of Silver Nanoparticles: pH and Stability Study. **Green Chemistry - New Perspectives**, 14 dez. 2022.

HAMOUDA, R. A., *et al.* Biological and Chemical Synthesis of Silver Nanoparticles: Characterization, MIC and Antibacterial Activity against Pathogenic Bacteria. Available Online Wwww.Jocpr.Com **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, 11(7), 1–12. 2019.

HOCHVALDOVÁ, L. *et al.* E. coli and S. aureus resist silver nanoparticles via an identical mechanism, but through different pathways. **Communications Biology**, v. 7, n. 1, 21 nov. 2024.

HUGHES, Michael Pycraft. The cellular zeta potential: cell electrophysiology beyond the membrane. **Integrative Biology**, v. 16, 1 jan. 2024.

IJAZ, I. *et al.* Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 13, n. 3, p. 223–245, 2 jul. 2020.

IRAVANI, S. Bacteria in Nanoparticle Synthesis: Current Status and Future Prospects. **International Scholarly Research Notices**, v. 2014, p. 1–18, 2014.

ISMAIL, R. K.; MUBARAK, T. H.; AL-HADDAD, R. M. S. Surface Plasmon Resonance of Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Applications. **J Biochem Tech**, v. 10, n. 2, p. 62-64, 2019.

JABINI, S.; KARTOOLINEJAD, D.; SEMNAN, Z. B.; NAGHDI, R.; SEMNAN, A. S.; MINAEIAN, S.. Biosynthesis of silver nanoparticles from juniper tree extracts. **Research Square**. 2022.

JADOUN, S. *et al.* Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, 13 ago. 2020.

JALAL, M.; ANSARI, M. A.; ALZOHAIY, M. A.; ALI, S. G.; KHAN, H. M.; ALMATROUDI, A.; RAEES, K.. Biosynthesis of silver nanoparticles from oropharyngeal candida glabrata isolates and their antimicrobials activity against clinical strains of bacteria and fungi. **Nanomaterials**, 8(8). 2018.

JAMKHANDE, P. G. *et al.* Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 53, p. 101174, 1 out. 2019.

JEAN-MARIE TEULON *et al.* On the Operational Aspects of Measuring Nanoparticle Sizes. **Nanomaterials**, v. 9, n. 1, p. 18–18, 23 dez. 2018.

JEBRIL, S.; FDHILA, A.; DRIDI, C. Nanoengineering of eco-friendly silver effective phenol nano sensor. **Scientific Reports**, 11(1).2021.

JEE, Krishna *et al.* A short review on ultraviolet and visible spectroscopy. **International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR)**, v. 7, n. 12, p. 683–687, dez. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/373143161>. Acesso em: 29 jul. 2025.

JIA, Z. *et al.* Dynamic Light Scattering: A Powerful Tool for In Situ Nanoparticle Sizing. **Colloids and Interfaces**, v. 7, n. 1, p. 15, 1 mar. 2023.

JIANG, Z. *et al.* Progress in Laser Ablation and Biological Synthesis Processes: “Top-Down” and “Bottom-Up” Approaches for the Green Synthesis of Au/Ag Nanoparticles. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 23, p. 14658, 1 jan. 2022.

JOUDEH, N.; LINKE, D. Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 20, n. 1, 7 jun. 2022.

KEDI, P. B. E. *et al.* Eco-friendly synthesis, characterization, in vitro and in vivo anti-inflammatory activity of silver nanoparticle-mediated *Selaginella myosurus* aqueous extract. **International Journal of Nanomedicine**, v. 13, p. 8537–8548, 12 dez. 2018.

KHAN, A. U. *et al.* Photocatalytic and antibacterial response of biosynthesized gold nanoparticles. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 162, p. 273–277, set. 2016.

KHAN, T.; YASMIN, A.; TOWNLEY, H. E. An evaluation of the activity of biologically synthesized silver nanoparticles against bacteria, fungi and mammalian cell lines. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, 194.2020.

KHODASHENAS, B.; GHORBANI, H. R. Synthesis of silver nanoparticles with different shapes. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 8, jan. 2015.

KIM, J. S. *et al.* Antimicrobial effects of silver nanoparticles. **Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine**, v. 3, n. 1, p. 95–101, mar. 2007.

KUMAR, R. *et al.* A study on green synthesis of silver nanoparticles using *Murraya koenigii* aqueous leaf extract. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 2, p. 2757–2759, 1 mar. 2020.

LAELA HAYU NURANI *et al.* Chemometrics-Assisted UV-Vis Spectrophotometry for Quality Control of Pharmaceuticals: A Review. **Indonesian journal of chemistry**, v. 23, n. 2, p. 542–542, 27 mar. 2023.

LAKSHMI, Jeeva V.; SHARATH, R.; CHANDRAPRABHA, M. N.; NEELUFAR, E.; HAZRA, Abhishikta; PATRA, Malyasree. Synthesis, characterization and evaluation of antimicrobial activity of zinc oxide nanoparticles. **Journal of Biochemical Technology**, v. 3, n. 5, p. S151-S154, 2012.

LI, Q. *et al.* Nanoparticle and nanomineral production by fungi. **Fungal Biology Reviews**, ago. 2021.

LI, W.-R. *et al.* Antibacterial effect of silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus*. **BioMetals**, v. 24, n. 1, p. 135–141, 12 out. 2010.

LIAO, S. *et al.* Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles against multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*. **International Journal of Nanomedicine**, 14, 1469–1487. 2019.

LUNARDI, C. N. *et al.* Experimental methods in chemical engineering: Zeta potential. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 99, n. 3, p. 627–639, 12 jan. 2021.

KURRA, H. *et al.* Aqueous Cymbopogon citratus Extract Mediated Silver Nanoparticles: Part I. Influence of Synthesis Parameters, Characterization, and Biomedical Studies. **Nanomaterials**, v. 15, n. 5, p. 328, 20 fev. 2025.

MAAREBIA, R. Z. *et al.* Optimization of precursor concentration and timing of stirring in the formation of silver nanoparticles with and without polyvinyl alcohol (PVA). **IOP Conference Series Earth and Environmental Science**, v. 343, n. 1, p. 012245–012245, 1 out. 2019.

MAGALHÃES, S.; GOODFELLOW, B. J.; NUNES, A. FTIR spectroscopy in biomedical research: how to get the most out of its potential. **Applied Spectroscopy Reviews**, v. 56, n. 8–10, p. 869–907, 13 jul. 2021.

MALAEKEH-NIKOUEI, B. *et al.* The role of nanotechnology in combating biofilm-based antibiotic resistance. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 60, p. 101880, dez. 2020.

MARATHE, V. S. *et al.* A Review on Silver Nanoparticles. **Research Journal of Pharmacology and Pharmacodynamics**, p. 87–95, 20 maio 2023.

MARINESCU, L. *et al.* Optimized Synthesis Approaches of Metal Nanoparticles with Antimicrobials Applications. **Journal of Nanomaterials**, v. 2020, p. 1–14, 22 dez. 2020.

MENG, X. K.; TANG, S. C.; VONGEHR, S. A Review on Diverse Silver Nanostructures. **Journal of Materials Science & Technology**, v. 26, n. 6, p. 487–522, jun. 2010.

MIKHAILOVA, E. O. Silver Nanoparticles: Mechanism of Action and Probable Bio-Application. **Journal of Functional Biomaterials**, v. 11, n. 4, p. 84, 26 nov. 2020.

MIRANDA, A.; AKPOBOLOKEMI, T.; CHUNG, E.; REN, G.; RAIMI-ABRAHAM, B. T. pH Alteration in Plant-Mediated Green Synthesis and Its Resultant Impact on Antimicrobials Properties of Silver Nanoparticles (AgNps). **Antibiotics**, 11(11).2022.

MOHAMMADI-JAM, S.; WATERS, K. E.; GREENWOOD, R. W. A review of zeta potential measurements using electroacoustics. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 309, p. 102778, nov. 2022.

MURALI, A. *et al.* Emerging 2D nanomaterials for biomedical applications. **Materials Today**, jun. 2021.

MURILLO-RÁBAGO, E. I. *et al.* Optimized Synthesis of Small and Stable Silver Nanoparticles Using Intracellular and Extracellular Components of Fungi: An Alternative for Bacterial Inhibition. **Antibiotics**, v. 11, n. 6, p. 800, 14 jun. 2022.

NADAROĞLU, Hayrunnisa; GÜNGÖR, Azize Alayli; İNCE, Selvi. Synthesis of Nanoparticles by Green Synthesis Method. **International Journal of Innovative Research and Reviews**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 6–9, 2017. Disponível em: <http://www.injirr.com/article/view/4>. Acesso em: 28 jul. 2025.

- NARAYANAN, K. B.; SAKTHIVEL, N. Biological synthesis of metal nanoparticles by Microbes. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 156, n. 1-2, p. 1–13, abr. 2010.
- NATSUKI, J. A Review of Silver Nanoparticles: Synthesis Methods, Properties and Applications. **International Journal of Materials Science and Applications**, v. 4, n. 5, p. 325, 2015.
- NDLOVU, N. L. *et al.* Evaluation of Advanced Nanomaterials for Cancer Diagnosis and Treatment. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 4, p. 473, 1 abr. 2024.
- NIKOLOVA, M. P.; CHAVALI, M. S. Metal Oxide Nanoparticles as Biomedical Materials. **Biomimetics**, v. 5, n. 2, p. 27, 1 jun. 2020.
- OLIVEIRA, L. M.; NEPOMUCENO. *et al.* Propagação vegetativa de *Hyptis leucocephala* Mart. ex Benth. e *Hyptis platanifolia* Mart. ex Benth. (Lamiaceae). In **Rev. Bras. Pl. Med** (Issue 1). 2011.
- OSMAN, Ahmed I. *et al.* Synthesis of green nanoparticles for energy, biomedical, environmental, agricultural, and food applications: A review. **Environmental Chemistry Letters**, [S.l.], v. 22, p. 841–887, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01682-3>. Acesso em: 29 jul. 2025.
- PADILHA, Angelo Fernando. Microscopia eletrônica de transmissão. **Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais da EPUSP**, p. 1-12, 2020.
- PAN, H. H. *et al.* Hypersonic confined eigenvibrations of gold nano-octahedra. **Applied Physics Letters**, v. 98, n. 13, 28 mar. 2011.
- PANDIT, C. *et al.* Biological agents for synthesis of nanoparticles and their applications. **Journal of King Saud University - Science**, v. 34, n. 3, p. 101869, abr. 2022.
- PARAS *et al.* A Review on Low-Dimensional Nanomaterials: Nanofabrication, Characterization and Applications. **Nanomaterials**, v. 13, n. 1, p. 160, 29 dez. 2022.
- PARVEKAR, P.; PALASKAR, J.; METGUD, S.; MARIA, R.; DUTTA, S. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) of silver nanoparticles against *Staphylococcus aureus*. **Biomaterial Investigations in Dentistry**, 7 (1), 105–109.2020.
- PATIL, N. *et al.* Overview on methods of synthesis of nanoparticles. **International Journal of Current Pharmaceutical Research**, p. 11–16, 15 mar. 2021.
- PRYSHCHEPA, O.; POMASTOWSKI, P.; BUSZEWSKI, B. Silver nanoparticles: Synthesis, investigation techniques, and properties. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 284, p. 102246, out. 2020.
- RADZIKOWSKA-BÜCHNER, E., *et al.* Antimicrobial and Apoptotic Efficacy of Plant-Mediated Silver Nanoparticles. **Molecules**, 28 (14).2023.
- RAHUMAN, H. B. H.; DHANDAPANI, R.; SARAVANAN, M.; *et al.* Medicinal plants mediated the green synthesis of silver nanoparticles and their biomedical applications. **IET Nanobiotechnology**, v. 16, n. 4, p. 115-144, 2022. DOI: 10.1049/nbt2.12078.

RAI DHIRENDRA PRASAD *et al.* A Review on Nanotechnology from Prehistoric to Modern Age. **ES General**, 1 jan. 2024.

RAMOS DA SILVA, L. R. *et al.* Lamiaceae Essential Oils, Phytochemical Profile, Antioxidant, and Biological Activities. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2021, p. 1–18, 14 dez. 2021.

RAUWEL, P.; KÜÜNAL, S.; FERDOV, S.; RAUWEL, E. A review on the green synthesis of silver nanoparticles and their morphologies studied via TEM. In *Advances in Materials Science and Engineering* (Vol. 2015). **Hindawi Publishing Corporation**. 2015.

REIS, Hélio Souza dos *et al.* Plantas medicinais da Caatinga: uma revisão integrativa dos saberes etnobotânicos no semiárido nordestino. **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, Umuarama, v. 27, n. 2, p. 874-900, 2023. DOI: <https://doi.org/10.25110/arqsaude.v27i2.2023-020>.

RESTREPO, C. V.; VILLA, C. C.. Synthesis of silver nanoparticles, influence of capping agents, and dependence on size and shape: A review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, 15. 2021.

REYGAERT, W. C. An Overview of the Antimicrobial Resistance Mechanisms of Bacteria. **AIMS microbiology**, v. 4, n. 3, p. 482–501, 26 jun. 2018.

ROCHA, Maria Clara de Almeida Lima; OLIVEIRA, Lenaldo Muniz de; LIMA, Ianna Kamyla Freitas. Conservação e domesticação de Hyptidinae (Lamiaceae): a contribuição da Universidade Estadual de Feira de Santana. **Revista RG News**, v. 8, n. 2, p. 129-138, 2022. Sociedade Brasileira de Recursos Genéticos.

RODRIGUEZ-LOYA, J.; LERMA, M.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. Dynamic Light Scattering and Its Application to Control Nanoparticle Aggregation in Colloidal Systems: A Review. **Micromachines**, v. 15, n. 1, p. 24, 1 jan. 2024.

RÓNAVÁRI, A. *et al.* Green Silver and Gold Nanoparticles: Biological Synthesis Approaches and Potentials for Biomedical Applications. **Molecules**, v. 26, n. 4, 5 fev. 2021.

ROSLI, N. A.; TEOH, Y. H.; MAHMOUDI, E. Current approaches for the exploration of antimicrobial activities of nanoparticles. **Science and Technology of Advanced Materials**, v. 22, n. 1, p. 885–907, 15 out. 2021.

ROY, N. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles: An approach to overcome toxicity. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 36, n. 3, p. 807–812, nov. 2013.

SAJID, M.; PŁOTKA-WASYLKA, J. Nanoparticles: Synthesis, characteristics, and applications in analytical and other sciences. **Microchemical Journal**, v. 154, p. 104623, maio 2020.

SAMANCIOGLU, Yusuf. Fundamental Differences Between Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM). **Journal of Physics Research and Applications**, v. 6, n. 2, p. 1-8, fev. 2024. DOI: 10.47363/JPRA/2024(6)208. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/381631243>. Acesso em: 31 ago. 2025.

SILVA, B. L. *et al.* Increased antibacterial activity of ZnO nanoparticles: Influence of size and surface modification. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 177, p. 440–447, maio 2019.

SINGH GOLIA, S.; SINGH, D.; ARORA, M.. Development of Narrow Size Distribution Silver Nanoparticles as Standard Reference Material/Bhartiya Nideshak Dravay for TEM/HRTEM and Particle Size Analyzer Instruments. In **International Journal of Innovative Science and Research Technology** (Vol. 7, Issue 2). 2022.

SONDI, I.; SALOPEK-SONDI, B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 275, n. 1, p. 177–182, jul. 2004.

SONG, L. X. Mechanisms of antimicrobial resistance. **Highlights in Science, Engineering and Technology**, v. 123, p. 734–739, 25 dez. 2024.

SREELEKHA, E. *et al.* A Comparative Study on the Synthesis, Characterization, and Antioxidant Activity of Green and Chemically Synthesized Silver Nanoparticles. **BioNanoScience**, v. 11, n. 2, p. 489–496, 20 jan. 2021.

SRIKAR, S. K. *et al.* Green Synthesis of Silver Nanoparticles: A Review. **Green and Sustainable Chemistry**, v. 06, n. 01, p. 34–56, 2016.

SÜLE, A. Antimicrobial resistance—a global challenge that deserves more attention! **European Journal of Hospital Pharmacy**, v. 29, n. 2, p. 65–65, 21 fev. 2022.

SUNITA, P.; PALANISWAMY, M. Effect of extract concentration and ageing on optical Properties of biological silver nanoparticles. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 8, n. 3, 7 jul. 2017.

SUSILOWATI, E. *et al.* Synthesis Optimization and Antibacterial Performance of Colloidal Silver Nanoparticles in Chitosan. **Indonesian Journal of Chemistry**, v. 23, n. 6, p. 1652, 6 dez. 2023.

TANG, K. W. K.; MILLAR, B. C.; MOORE, J. E. Antimicrobial Resistance (AMR). **British Journal of Biomedical Science**, v. 80, n. 11387, p. 11387, 28 jun. 2023.

TANG, S., & ZHENG, J. Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. In **Advanced Healthcare Materials** (Vol. 7, Issue 13). **Wiley-VCH Verlag**. 2018.

TANG, S.; VONGEHR, S.; MENG, X. Controllable incorporation of Ag and Ag–Au nanoparticles in carbon spheres for tunable optical and catalytic properties. **Journal of Materials Chemistry**, v. 20, n. 26, p. 5436, 2010.

TARGINO, A. G. R. *et al.* An innovative approach to treating dental decay in children. A new anti-caries agent. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 25, n. 8, p. 2041–2047, 13 maio 2014.

THAMBIRAJOO, M. *et al.* Potential of Nanoparticles Integrated with Antibacterial Properties in Preventing Biofilm and Antibiotic Resistance. **Antibiotics**, v. 10, n. 11, p. 1338, 1 nov. 2021.

VAZQUEZ-MUÑOZ, R. *et al.* Enhancement of antibiotics antimicrobial activity due to the silver nanoparticles impact on the cell membrane. **Plos One**, v. 14, n. 11, p. e0224904, 8 nov. 2019.

VELAZQUEZ-MEZA, M. E. *et al.* Antimicrobial Resistance: One Health Approach. **Veterinary World**, v. 15, n. 3, p. 743–749, 28 mar. 2022.

VIDYASAGAR, N.; PATEL, R. R.; SINGH, S. K.; SINGH, M. Green synthesis of silver nanoparticles: methods, biological applications, delivery and toxicity. In **Materials Advances** (Vol. 4, Issue 8, pp. 1831–1849). **Royal Society of Chemistry**. 2023.

WANG, C. *et al.* A nano-silver composite based on the ion-exchange response for the intelligent antibacterial applications. **Materials Science and Engineering: C**, v. 41, p. 134–141, 1 ago. 2014.

WANG, L.; HU, C.; SHAO, L. The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. **International Journal of Nanomedicine**, v. Volume 12, n. 12, p. 1227–1249, fev. 2017.

WANG, X. *et al.* Comparative Study of Three Carbon Additives: Carbon Nanotubes, Graphene, and Fullerene-C60, for Synthesizing Enhanced Polymer Nanocomposites. **Nanomaterials**, v. 10, n. 5, p. 838, 27 abr. 2020.

YIN, I. X.; ZHANG, J.; ZHAO, I. S.; MEI, M. L.; LI, Q.; CHU, C. H. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. In **International Journal of Nanomedicine** (Vol. 15, pp. 2555–2562). 2020.

YING, Shuaixuan; GUAN, Zhenru; OFOEGBU, Polycarp C.; CLUBB, Preston; RICO, Cyren; HE, Feng; HONG, Jie. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. **Environmental Technology & Innovation**, v. 26, art. 102336, 2022. Disponível em: ScienceDirect – Environmental Technology & Innovation. Acesso em: 28 jul. 2025

ZAREI, M.; JAMNEJAD, A.; KHAJEHALI, E. Antibacterial Effect of Silver Nanoparticles Against Four Foodborne Pathogens. **Jundishapur Journal of Microbiology**, v. 7, n. 1, 1 jan. 2014.

ZHAO, F. *et al.* An updated tribal classification of Lamiaceae based on plastome phylogenomics. **BMC Biology**, v. 19, n. 1, 8 jan. 2021.