



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,**  
**INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA –**  
**CITA**



**Biossíntese de nanopartículas de prata com extratos da folha de bambu -**  
***Dendrocalamus Giganteus* e sua atividade antimicrobiana**

**Emerson Silva de Almeida**

RIO BRANCO, AC  
01/2023

**Emerson Silva de Almeida**

**Biossíntese de nanopartículas de prata com extratos da folha de bambu -  
*Dendrocalamus Giganteus* e sua atividade antimicrobiana**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências e Inovação Tecnológica**.

**Orientador: Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez**

RIO BRANCO, AC  
01/2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- A447b Almeida, Emerson Silva de, 1996 -  
Biossíntese de nanopartículas de prata com extratos da folha de bambu –  
*Dendrocalamus Giganteus* e sua atividade antimicrobiana / Emerson Silva de  
Almeida; orientador: Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez. – 2023.  
45 f. : il. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-  
Graduação em Ensino de Ciências e Inovação tecnológica, Rio Branco, 2023.  
Inclui referências bibliográficas.
1. Bambu gigante. 2. Nanopartículas. 3. Biossíntese. I. Rodriguez, Anselmo  
Fortunato Ruiz (orientador). II. Título.

CDD: 509

---

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11º/882.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E**  
**TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA**

**Biossíntese de nanopartículas de prata com extratos da folha de bambu -  
*Dendrocalamus Giganteus* e sua atividade antimicrobiana**

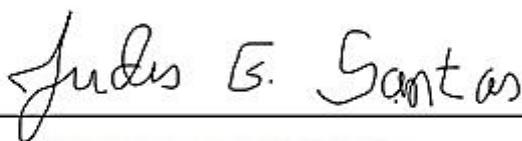
Emerson Silva de Almeida

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 24 de janeiro de 2023



---

**Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez**  
**Universidade Federal do Acre**



---

**Judes Gonçalves dos Santos**

**Universidade Federal de Rondônia**



---

**Luis Eduardo Maggi**

**Universidade Federal do Acre**



**Este trabalho é dedicado à minha filha Lara, meus pais e minha esposa.**

## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos vão a todos que contribuíram nessa trajetória, com destaque a algumas pessoas e instituições em especial a minha profunda gratidão.

Ao professor Dr. Anselmo Fortunato Ruiz Rodriguez pela orientação, comprometimento, por ter acreditado a mim, por compartilhar seus conhecimentos e pela confiança neste trabalho.

Ao Marcelo Ramon, Fernando Lima e Katuscia Shirota por todo o apoio no Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte-UFAC, pelo conhecimento compartilhado, pela confiança na realização desse estudo, pela amizade e pela atenção.

Ao Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da UFAC por ceder sua infraestrutura na utilização de materiais e equipamentos para o trabalho realizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia (CITA) e a todos os professores que contribuíram compartilhando seus ensinamentos e conhecimentos em diversas áreas, pelo apoio e por acreditarem em mim no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Grupo do PPG Bionorte pelo compartilhamento de experiências, conhecimentos e apoio.

**E o grau de comprometimento que determina o sucesso. R.J.  
Lupin (Personagem fictício da série cinematográfica Harry  
Potter)**

## RESUMO

O *Dendrocalamus Giganteus*, conhecido popularmente como Bambu Gigante (BG), utilizou-se a extração das folhas, trituração e liofilização das mesmas. As sínteses das nanopartículas de prata (NPsAg), foram separadas em 200 ppm e 500 ppm de nitrato de prata, as biossínteses foram realizadas pelo método de redução química utilizando o extrato das folhas do BG, que são materiais orgânicos solúveis em água que auxiliam na redução de íons de prata e a estabilização das NPsAg. As soluções aquosas de nitrato de prata foram tratadas com diferentes concentrações do extrato de BG para a formação de NPsAg, com a transformação da coloração amarelada para marrom após 15 minutos. Essas nanopartículas biossintetizadas foram caracterizados com Espectroscopia UV-Vis, Espalhamento de Luz Dinâmico (DLS) e seu Potencial Zeta (pZ), tamanho do Diâmetro Hidrodinâmico, carga elétrica e a natureza da polidispersão (PDI) das NPsAg. As avaliações das atividades antibacterianas foram realizadas por meio do teste de *cup plate*, com as culturas Gram-positiva *Staphylococcus aureus* (ATCC 12598) e a Gram-negativa *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603). Desta maneira através das técnicas e testes realizados, a eficiência encontrada no extrato da folha do BG para redução do nitrato de prata na formação de nanopartículas de prata, resultou em quantificações satisfatórias, abrangendo a esta metodologia que não irá agredir o meio ambiente com resíduos químicos, sendo uma síntese verde.

**Palavras-chave:** *Dendrocalamus Giganteus*, Síntese Verde, Nanopartículas.

## ABSTRACT

The *Dendrocalamus Giganteus*, popularly known as Bamboo Gigante (BG), was used to extract the leaves, grind them and lyophilize them. The syntheses of silver nanoparticles (NPsAg), were separated into 200 ppm and 500 ppm of silver nitrate, the biosyntheses were carried out by the chemical reduction method using the extract of the leaves of the BG, which are organic materials soluble in water that help in the reduction of silver ions and stabilization of AgNPs. Aqueous silver nitrate solutions were treated with different concentrations of BG extract to form NPsAg, with a transformation from yellow to brown after 15 minutes. These biosynthesized nanoparticles were characterized with UV-Vis Spectroscopy, Dynamic Light Scattering (DLS) and their Zeta Potential (pZ), size of the Hydrodynamic Diameter, electric charge and the nature of the polydispersion (PDI) of the AgNPs. Evaluations of antibacterial activities were performed using the cup plate test, with Gram-positive *Staphylococcus aureus* (ATCC 12598) and Gram-negative *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603) cultures. In this way, through the techniques and tests carried out, the efficiency found in the extract of the BG leaf for the reduction of silver nitrate in the formation of silver nanoparticles, resulted in satisfactory quantifications, covering this methodology that will not harm the environment with chemical residues, being a green synthesis.

**Keywords:** *Dendrocalamus Giganteus*, Green Synthesis, Nanoparticles.

## LISTA DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Figura 1.</b> Escala de comparação manométrica para as nanopartículas.  | 3           |
| <b>Figura 2.</b> Extrato da Folha do bambu <i>Dendrocalamus Giganteus</i> seco e triturado.  | 8           |
| <b>Figura 3.</b> Extrato da folha do bambu <i>Dendrocalamus Giganteus</i> liofilizado.   | 8           |
| <b>Figura 4.</b> Esquema de passos utilizados para realização da biossíntese.  | 10          |
| <b>Figura 5.</b> Amostra biossíntese prata/EBG.  | 11          |
| <b>Figura 6.</b> Demonstração de leitura do método de espalhamento de luz dinâmico (DLS).  | 11          |
| <b>Figura 7.</b> Sistema analítico utilizado para leitura do equipamento FTIR.   | 12          |
| <b>Figura 8.</b> Esquema de funcionamento interno de um espectrofotômetro.   | 13          |
| <b>Figura 9.</b> Halo de inibição contra <i>Klebsiella pneumoniae</i> gram negativa.   | 14          |
| <b>Figura 10.</b> Halo de inibição contra <i>Staphylococcus aureus</i> Gram Positiva.  | 14          |
| <b>Figura 11.</b> Representação do diâmetro hidrodinâmico para amostra de 200 ppm extrato aquoso da folha de bambu gigante, todas concentrações analisado. | 18          |
| <b>Figura 12.</b> Representação do diâmetro hidrodinâmico para amostra de 500 ppm extrato aquoso da folha de bambu gigante, todas as concentrações.        | 18          |
| <b>Figura 13.</b> Representação dos picos encontrados do Potencial Zeta para amostra de 200 ppm com EBG analisados no zetasizer.                           | 20          |
| <b>Figura 14.</b> Representação dos picos encontrados do Potencial Zeta para amostra de 500 ppm do EBG analisados no zetasizer.                            | 21          |
| <b>Figura 15.</b> Espectroscopia UV-Vis concentração 200 ppm com extrato aquoso da EBG.  | 23          |
| <b>Figura 16.</b> Espectroscopia UV-Vis concentração 500 ppm com extrato aquoso da EBG.  | 23          |
| <b>Figura 17.</b> Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da prata/extrato aquoso da EBG.  | 25          |

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

|           |  | <b>Pág.</b> |
|-----------|--|-------------|
| Tabela 1. | Padronização da quantidade de extrato por concentração de nitrato de prata.  | 10          |
| Tabela 2. | Atividade antibacterial de nanopartículas provenientes da solução de 500 ppm com 150 g de extrato.                     | 15          |
| Tabela 3. | Diâmetro hidrodinâmico das partículas concentrações de 200 ppm e 500 ppm   | 16          |
| Tabela 4. | Dados estatísticos para o Diâmetro Hidrodinâmico das partículas  | 16          |
| Tabela 5. | Potencial Zeta das partículas nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm.  | 19          |
| Tabela 6. | Média, desvio padrão e intervalo de confiança do Potencial Zeta das partículas nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm. | 19          |
| Tabela 7. | Polidispersão das nanopartículas de prata com extrato aquoso da FBG.   | 21          |
| Tabela 8. | Média, desvio padrão e intervalo de confiança da Polidispersão das nanopartículas de prata com extrato aquoso da FBG.  | 21          |
| Tabela 9. | Índice de picos relacionados ao comprimento de onda do nanocompósito pelo FTIR.  | 25          |

---

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**NpsAg:** Nanopartículas de Prata.

**pZ:** Potencial Zeta

**UV-Vis:** Espectroscopia Ultra violeta/ Visível

**NPs:** Nanopartículas

**FBG:** Folha do bambu gigante

**BG** Bambu gigante

**PDI** Índice de polidispersão

**DLS** Espalhamento de luz dinâmico

**FTIR** Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| 1. 1.INTRODUÇÃO.....  | 1         |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                    | <b>3</b>  |
| NANOPARTÍCULAS .....  | 3         |
| SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA .....                          | 4         |
| NANOPARTÍCULAS DE PRATA EM ATIVIDADE ANTIMICROBIANA.....                | 5         |
| <b>3. OBJETIVOS .....</b>   | <b>7</b>  |
| 3.1 OBJETIVO GERAL .....  | 7         |
| 3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....   | 7         |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                      | <b>8</b>  |
| ÁREA DE ESTUDO .....  | 8         |
| EXTRATO AQUOSO DA FOLHA DE BAMBU GIGANTE .....                          | 8         |
| NITRATO DE PRATA .....  | 9         |
| BIOSSÍNTESE .....   | 10        |
| ESPALHAMENTO DE LUZ DINÂMICO .....                                      | 11        |
| ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)..... | 12        |
| ESPECTROSCOPIA UV-VIS .....   | 12        |
| ATIVIDADE ANTIMICROBIANA .....  | 13        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                  | <b>14</b> |
| ATIVIDADE ANTIMICROBIANA .....  | 14        |
| DIÂMETRO HIDRODINÂMICO .....  | 16        |
| POTENCIAL ZETA .....  | 18        |
| ÍNDICE DE POLIDISPERSÃO .....   | 21        |
| UV-VIS.....   | 22        |
| ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER.....        | 24        |
| <b>6. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                              | <b>28</b> |

# 1. INTRODUÇÃO

As nanopartículas de prata são um dos nanomateriais mais estudados e utilizados no setor industrial e comercial, devido a suas propriedades e características, sendo: estabilidade química, maleabilidade, flexibilidade, alta condutividade elétrica e térmica, atividade catalítica, baixo custo para produção e ação antimicrobiana frente a bactérias, vírus, fungos e protozoários (DURÁN et al., 2019).

As nanopartículas de prata (NpsAg) apresentam propriedades de reação entre alta área superficial por unidade de volume, aumentando as já conhecidas propriedades antibacterianas da prata (DESHMUKH, 2019). NPsAg tem surgido com contribuições importantes em diversas aplicações, como entrega direcionadas de drogas (BASU, 2018).

As nanopartículas podem ser sintetizadas por vários métodos físicos e químicos, como reação de redução química, reação fotoquímica, decomposição térmica, métodos assistidos por radiação, processos eletrotérmicos, processos químicos e síntese assistida por micro-ondas (SHINDE, 2014). Esses métodos produzem nanopartículas de prata de forma eficiente, porém, esses métodos frequentemente envolvem o uso de substâncias químicas tóxicas e perigosas, que apresentam diversos efeitos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana (RANI, 2011).

Segundo DHAND, (2016), ao utilizar métodos frequentes que envolvam substâncias químicas ao final requer várias etapas de purificação, nas quais a redução é usada agentes químicos que muitas vezes são adsorvidos na superfície das nanopartículas, também é necessário o uso de estabilizadores para evitar a aglomeração das nanopartículas de prata.

A busca por novas rotas de biossíntese tem ditado o ritmo de novas pesquisas no campo de nanometais biotecnológicos com propriedades funcionais (PAPER et al., 2016). As proteínas contidas nos extratos naturais proporcionam dupla função de redução da prata eletronegativa e também um melhor controle morfológico (GARDEA, 2003).

O desenvolvimento de processos experimentais de inspiração biológica para a síntese de nanopartículas é um importante ramo da nanotecnologia e dentre eles destaca-se a síntese verde de NpsAg, a qual é realizada usando plantas, micro-organismos e outros bio-polímero (CHUNG et al., 2016).

O bambu pertence à família das Poaceae, subfamília *Bambusoideae* com aproximadamente 75 gêneros e mais de 1.250 espécies (LONDOÑO, 2004). São plantas anuais ou perenes, às vezes lignificadas, em geral rizomatosas e providas de colmos ocos ou sólidos (SILVA FILHO, 2006). Segundo o sistema de classificação do botânico alemão Adolf Engler, o bambu pertence à divisão das *Angiospermae* e faz parte do grupo das monocotiledôneas, subgrupo das *Gramineae*, sendo parente próximo do trigo, milho, cana de açúcar, cevada e capim (OSTAPIV, 2007). As espécies exóticas, introduzidas, por intermédio dos imigrantes, são, na sua maioria, provenientes do continente asiático, tais como: *Bambusa vulgaris* (sul da China), *Bambusa tuldoides* (sul Asiático), *Dendrocalamus strictus* (Índia, China e Vietnã), *Dendrocalamus giganteus* (Burma) e *Phyllostachys aurea* (Ásia) (AZZINI et al., 1997).

O gênero *Guadua*, o bambu tropical é importante economicamente, com origem na América do Sul vai até os andes venezuelanos e no sul da fronteira entre Equador e Peru. O cultivo no Brasil pode atingir 30 m de altura e entre 15cm e 20 cm de diâmetro (COSTA et al., 2017). Utilizado na construção civil, produção de lenha, fabricação de artesanato, móveis, proteção de móveis e fontes de água (COSTA et al., 2017).

Materiais nanoestruturados vem trazendo um importante impacto nas áreas de ciência básica, isso se dá pelas suas possíveis aplicações multifuncionais, ou seja, a compreensão da física envolvida por trás destes novos materiais nanométricos manifesta-se muito importante na ciência e tecnologia (SAMPAIO, 2016).

O interesse nas nanopartículas de prata e ouro ganhou fundamental interesse devido às características únicas dessas partículas como seu baixo peso e apresentam o efeito plasmônica de superfície (HAIYUN, 2011).

Estratégias inovadoras envolvem a possibilidade de aquisição de componentes bioativos, são baseadas em várias partes de plantas. Assim no trabalho realizado, utilizamos extratos da folha do bambu gigante.

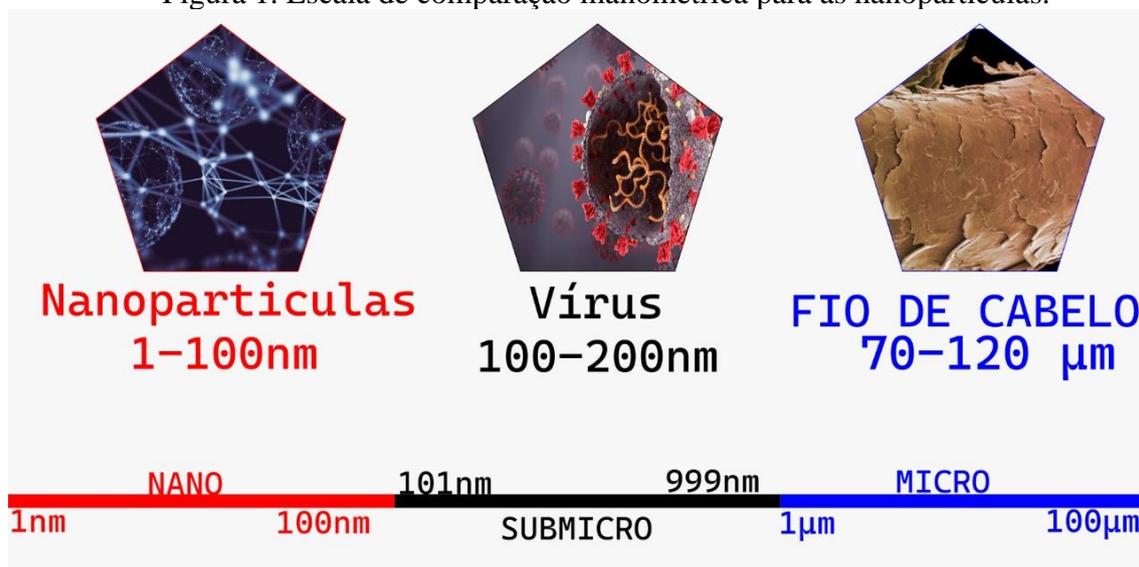
## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Nanopartículas

As nanopartículas segundo BISWAS & WU (2005) são consideradas os blocos de construção para nanotecnologia, e são referidas as partículas com dimensão de 0,1 a 100 nm. Nanopartículas nestas faixas de tamanho têm sido utilizado por diversas indústrias e pela humanidade por milhares de anos; no entanto, houve um ressurgimento recente devido à capacidade de sintetizar e manipular tais materiais.

Segundo GARCIA et al (2011), a definição de nanotecnologia é de certa forma controversa, mas é de consenso geral que as dimensões das partículas devem estar dentro do intervalo de 1 – 100 nm. Outro consenso é de que as propriedades das nanopartículas, diferentes das que se encontram em escalas maiores, baseiam suas propriedades no fato de que as superfícies envolvidas são muito maiores em comparação aos volumes propiciando maiores áreas de contato.

Figura 1. Escala de comparação manométrica para as nanopartículas.



Fonte: Adaptado (2023).

As nanopartículas de prata podem ser utilizadas em diferentes áreas, suas características físico-químicas como condutividade elétrica e flexibilidade abrem espaço para suas diversas aplicabilidades (SENA et al., 2019)

Soluções coloidais de metais como prata e ouro são sistemas em nanoescala particularmente interessantes, devido à facilidade com que podem ser preparadas e modificadas quimicamente (MELO, 2012).

## **2.2 Síntese verde de nanopartículas de prata.**

A síntese verde de NPs visa à utilização de organismos biológicos, ou partes deles, como substituintes de reagentes químicos tóxicos nas reações de biossínteses, apresentando-se como uma alternativa sustentável (IRAVANI, 2011).

Essa rota de síntese tende a utilizar solventes de toxicidade baixa a nula, os quais levam a um impacto ambiental baixo. Além disso, as NPs sintetizadas por essas rotas geralmente apresentam biocompatibilidade e biodegradabilidade. O custo de produção é geralmente baixo e pode-se obter um alto rendimento do produto de interesse (SILVA, 2014).

No que concerne à parte da planta utilizada para a realização da síntese verde, o extrato proveniente das folhas é a escolha mais comum, mas também há estudos reportando o uso de sementes (SILVA, 2014)

Um aspecto relevante à síntese verde é o fato de que em cada parte da planta há um perfil de fitoquímicos presentes em diferentes concentrações, de acordo com a necessidade de cada tecido e com o estresse ao qual a planta possa estar submetida como temperatura e umidade (SILVA, 2014). Dessa maneira, a combinação dos constituintes químicos e as condições da parte da planta selecionada vão definir, em última instância, a eficiência do extrato como formador de nanopartículas (KURMAR e YADAY, 2009).

A síntese verde é considerada uma ferramenta importante para reduzir a destruição, propiciar efeitos positivos associados aos métodos tradicionais de síntese de nanopartículas comumente utilizados em laboratório e indústria e que pode acomodar diversos materiais biológicos, como fungos, bactérias, algas e extratos de plantas. Consequentemente, técnicas de biossíntese empregando extratos de plantas ganharam maior consideração como um método simples e eficiente, viável e de baixo custo (SINGH et al., 2018).

Segundo SENA, et al. 2019, a utilização de plantas como agente redutor na síntese verde valoriza os recursos naturais presentes na Amazônia, onde há uma diversidade de plantas a serem estudadas, de vários gêneros e espécies com constituintes fotoquímicos

que contribuem para suas ações bactericidas, antifúngicas, anti-inflamatórias, diuréticas, laxativas entre outras propriedades medicinais (SENA et al., 2019b).

Síntese verde, síntese biológica e síntese biogênica são termos comumente usados para a síntese ecologicamente correta de nanopartículas. Normalmente, as nanopartículas são sintetizadas através de métodos químicos, físicos e biológicos. As sínteses físicas e químicas possuem consumo intensivo de energia e às vezes podem envolver substâncias químicas tóxicas, enquanto as técnicas biológicas são rentáveis, limpas, atóxicas e ecologicamente corretas. A via de síntese biológica tem sido efetuada, sobretudo, através do uso de bactérias, fungos, plantas, cianobactérias e actinomicetose. (RAI, 2013)

### **2.3 Nanopartículas de prata em atividade antimicrobiana.**

*Staphylococcus aureus* é um dos principais patógenos associados a infecção hospitalar e vêm apresentando problemas na comunidade, e demonstra resistência a oxacilina e cefoxitina, que são marcadores da resistência aos beta-lactâmicos (GELATTI et al., 2009).

A prata livre possui ação antibacteriana caracterizada até concentrações micromolares e há indícios de que o mecanismo de ação antibacteriana das NPsAg está relacionado à liberação progressiva de íons de prata pela NPs (PATIL et al., 2012). Uma das aplicações mais proeminentes das NPsAg ocorre devido à sua atividade antimicrobiana relatada por diversos autores ao longo dos últimos anos (Salam et al., 2012).

Segundo NAVARRO et al, 2008, há relatos de que a liberação de íons  $Ag^+$  a partir das AgNPs é responsável por sua atividade antimicrobiana. Entretanto, não está claro se os mecanismos das ações antimicrobiana das NPsAg estão relacionados apenas com a liberação de íons ou se as próprias NPsAg apresentam uma toxicidade específica.

As interações eletrostáticas entre as cargas negativas da superfície bacteriana e as NPsAg carregadas positivamente parecem ser fundamentais para a atividade antimicrobiana das NPsAg (STOIMENOV et al., 2002).

Segundo NICHOLAS, 2010, as formas estruturais são os outros parâmetros dos nanocristais, qual eles são responsáveis pela interação com a parede celular das bactérias. Truncado nanocompósitos de prata em formato triangular exibiram maior atividade antibacteriana contra bactérias *E. coli* em vez de NPs esféricos e em forma de bastonete.

É improvável que os micróbios desenvolvam resistência contra a prata, como fazem contra antibióticos convencionais, porque o metal ataca uma ampla gama de alvos nos organismos, o que significa que eles teriam que desenvolver uma série de mutações simultaneamente para se protegerem (PAL, 2007).

Segundo NICHOLAS, 2010, deve ser considerado em conjunto com a alta relação superfície/volume normalmente presente em nanomateriais, quanto menores as partículas, maior a superfície metálica exposta e, subsequentemente, maior efeito microbicida pode ser esperado.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

Biossíntese de nanopartículas de prata utilizando extratos aquosos da folha do bambu *Dendrocalamus Giganteus* com soluções de nitrato de prata, caracterizações físico-químicas e atividades antimicrobianas.

#### **3.2 Específicos**

- Efetuamos as dispersões com as soluções do nitrato de prata em concentrações de 200 ppm e 500 ppm.
- Utilizamos o extrato da folha de bambu *Dendrocalamus Giganteus* como redutor do nitrato de prata, para realização da biossíntese.
- Caracterizamos parâmetros físico-químicas do extrato com nanopartículas de Prata/DBG.
- Realizamos os testes antimicrobianos, com bactérias gram positivas *Staphylococcus aureus* e gram negativas *Klebsiella pneumoniae*.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

As folhas utilizadas para obtenção do extrato aquoso, foram retiradas da colônia denominada Colônia El Shadai, ramal Boa União, km 04, Município de Porto Acre do estado de Acre, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 9°29'54.00"S e Longitude 67°42'16.19"O.

### 4.2 Extrato aquoso da folha do bambu gigante

A extração da folha figura 2 vem de origem da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, figura 2, levados ao Complexo Bionorte da UFAC, onde ficaram armazenados em local seco e ventilado. Após o tempo corrido de armazenagem realizou-se secagem em estufa de circulação forçada por 7 dias interruptos para esterilização máxima do material. Seguindo a próxima etapa utilizou-se moedor manual, realizando a trituração da folha, figura 3.

Figura 2. Extrato da Folha do bambu *Dendrocalamus Giganteus* seco e triturado.



Em sequência as folhas trituradas passaram pelo processo de liofilização em período de 78 h, com a temperatura de 58 °C e pressão de 984 µmHg, após este processo obtém o extrato liofilizado conforme figura 3.

Figura 3. Extrato da folha do bambu *Dendrocalamus Giganteus* liofilizado.



O extrato liofilizado foi o material utilizado para a biossíntese das nanopartículas, sendo necessário realizar todas as etapas para obter-se extrato aquoso puro, aumentando o índice de eficiência do mesmo como agente redutor na biossíntese.

### 4.3 Nitrato de prata

A solução de nitrato de prata utilizada para biossíntese, elaborou-se com a diluição da solução de nitrato de prata Sigma- Aldrich 209139-25G (sólido) em água pura, determinadas em diluição para as concentrações de 200 ppm e 500 ppm.

A padronização se deu através da utilização para 250 mL de água com as respectivas concentrações de Nitrato de Prata: para 200 ppm utilizou-se 0,0395 g de nitrato para 250 mL de água, 500 ppm utilizou-se 0,19675 g de nitrato de prata para 250 mL.

Para 200 ppm:

$$170\text{g AgNO}_3 - 108\text{g Ag}$$

$$X\text{AgNO}_3 - 0,1\text{g/L}$$

$$\text{Sendo } X = 0,157\text{g AgNO}_3$$

Padronizando da solução para 250 mL:

$$0,157\text{g/L} - 1000\text{ mL}$$

$$X - 250\text{ mL}$$

$$\text{Sendo } X = 0,0395\text{ g AgNO}_3$$

Para 500 ppm:

$$170\text{g AgNO}_3 - 108\text{g Ag}$$

$$X\text{AgNO}_3 - 0,5\text{g/L}$$

$$\text{Sendo } X = 0,7870\text{ g AgNO}_3$$

Padronizando da solução para 250 mL:

$$0,7870\text{g/L} - 1000\text{ mL}$$

$$X - 250\text{ mL}$$

$$\text{Sendo } X = 0,19675\text{ g AgNO}_3$$

## 4.4 Biossíntese

A biossíntese realizada por mistura coloidal com três diferentes concentrações do extrato aquoso da folha de bambu gigante liofilizada com a solução de nitrato de prata padronizada em suas respectivas concentrações de 200 ppm e 500 ppm encontrados o esquema de realização da Biossíntese na figura 5 e as concentrações dos extratos e das soluções na tabela 1.

Figura 4. Esquema de passos utilizados para realização da biossíntese.

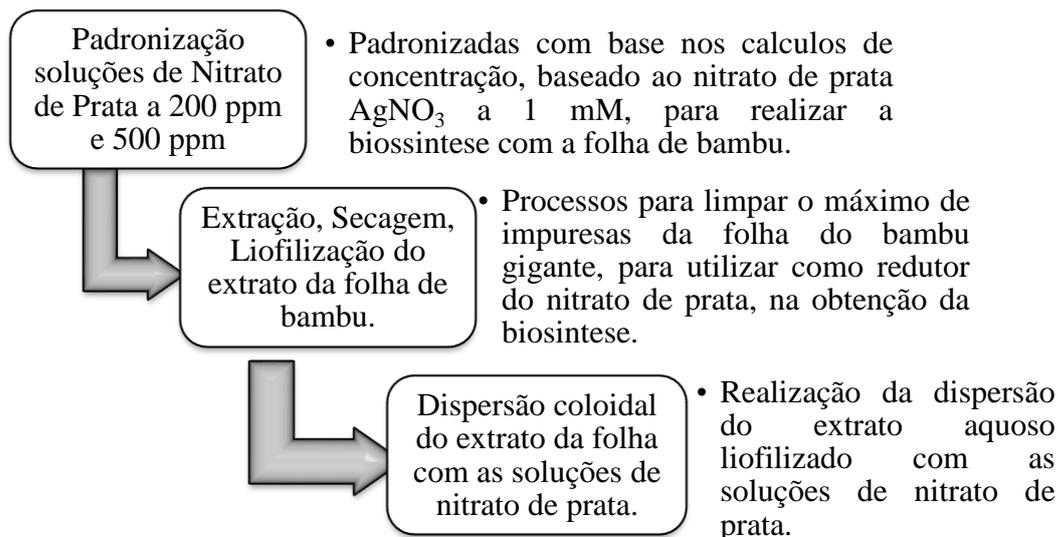


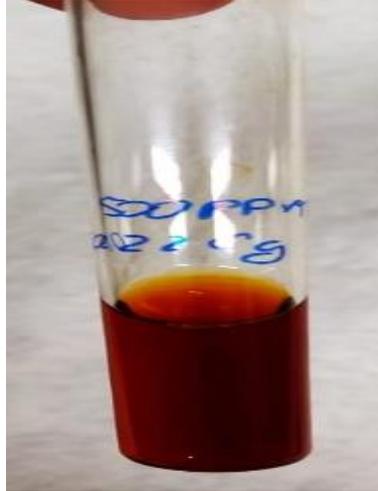
Tabela 1. Padronização da quantidade de extrato por concentração de nitrato de prata.

| Concentração Solução | Pesagem 1 Extrato da folha de bambu | Pesagem 2 Extrato da folha de bambu | Pesagem 3 Extrato da folha de bambu |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 200 ppm – 10 mL      | 0,0070 g                            | 0,0150 g                            | 0,0220 g                            |
| 500 ppm – 10 mL      | 0,0070 g                            | 0,0150 g                            | 0,0220 g                            |

A Biossíntese condiz em 10 mL de solução com as diferentes concentrações do extrato aquoso liofilizado da FBG, através das dispersões dos extratos nas soluções de nitrato de prata de 200 ppm e 500 ppm, conduzido a utilização de agitador vórtex para auxiliar a dispersão dos extratos nas soluções por tempo de 1:30 min. Após a etapa de dispersão, a solução contendo o extrato e nitrato de prata, é deixada em descanso a luz natural pelo tempo de 30 min antes de realizar os testes no Zetasizer para demonstrar a

presença das nanopartículas. Deste mesmo no período entre 5 e 10 minutos, já é perceptível a mudança de coloração para laranja conforme a figura 5.

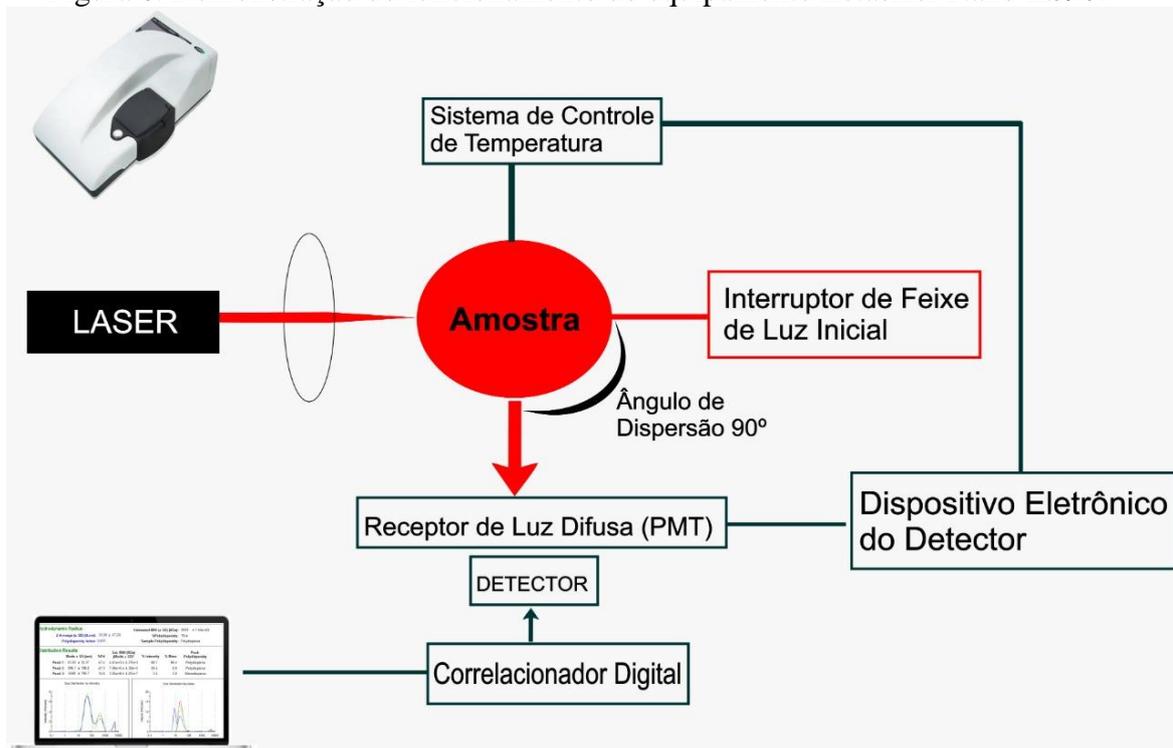
Figura 5. Amostra biossíntese prata/FBG.



#### 4.5 Espalhamento dinâmico de luz (DLS)

As medidas experimentais foram realizadas num equipamento Zetasizer modelo Nano – ZS90 da marca figura 6 nas instalações do Laboratório de Nanobiotecnologia do Complexo Bionorte da Universidade Federal do Acre - UFAC. Assim feito as bandas de análises: diâmetro hidrodinâmico, potencial Zeta, poli dispersão e viscosidade.

Figura 6. Demonstração do funcionamento do equipamento Zetasizer Nano-ZS90.



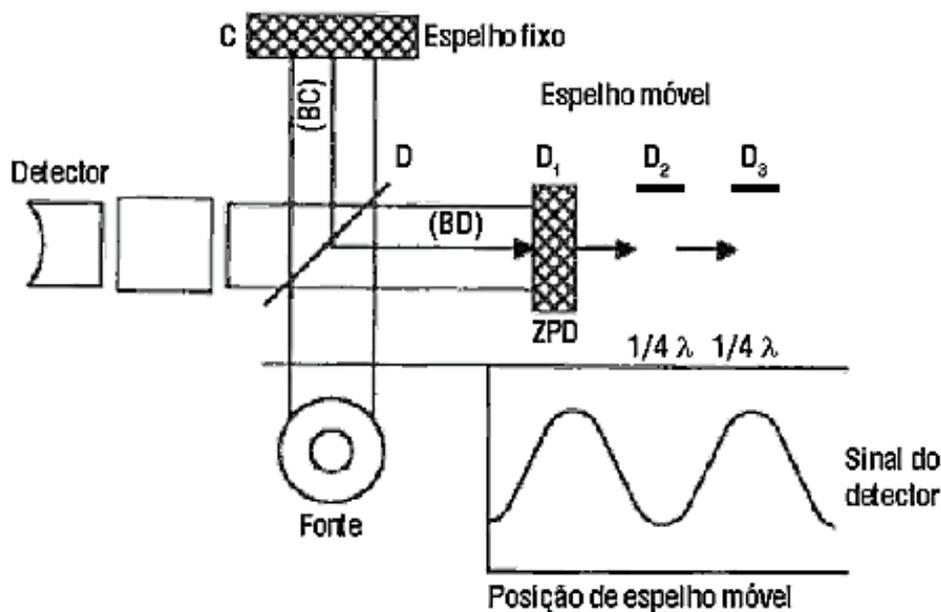
Fonte: Adaptado, (2023).

## 4.6 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

As medidas experimentais foram realizadas num equipamento FT-IR Spectrometer da marca Perkin Elmer nas dependências do Laboratório da Polícia Federal do estado do ACRE. Assim foram analisados a transmitância em função de comprimento de onda.

A solução de nitrato de prata reduzida pelo extrato aquoso de FBG foram novamente liofilizadas para medições FTIR. O espectro foi registrado na faixa de  $4500 - 500 \text{ cm}^{-1}$  usando o espectrômetro FT-IR no modo operando com resolução de  $\text{cm}^{-1}$ . Conforme a figura 7, que representa o método analítico utilizado pelo equipamento, para realização da leitura da amostra.

Figura 7. Sistema analítico utilizado para leitura do equipamento FTIR.



Fonte. CIENFUEGOS, 2003.

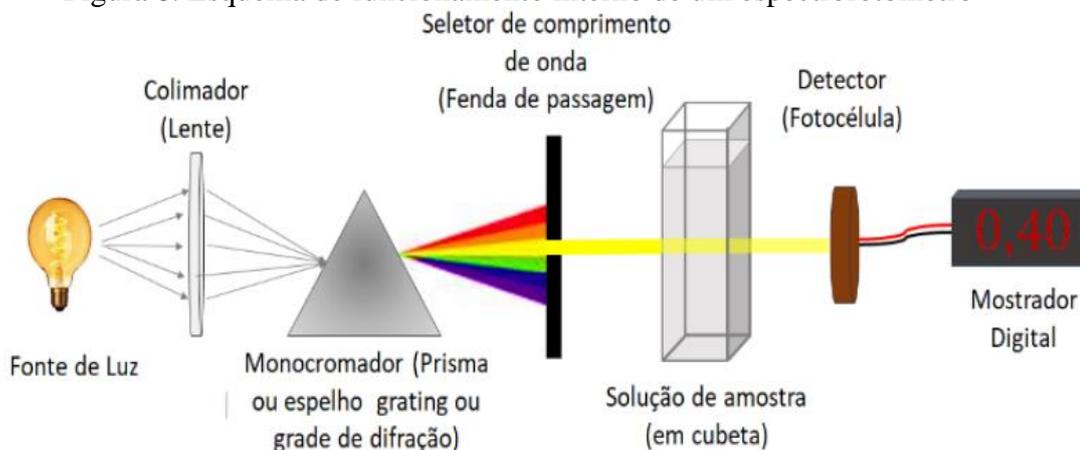
## 4.7 Espectroscopia UV-Vis

A formação e estabilidade das nanopartículas foram verificadas por Espectroscopia UV-Vis, que se mostra um método analítico eficaz na detecção das NPsAg.

As leituras realizadas no Laboratório de Nanobiotecnologia do complexo BIONORTE da Universidade Federal do Acre – UFAC, feita através do equipamento UV-Vis

Spectrophotometer da marca JENWAY, foram analisadas o seu comprimento de onda de 200 nm a 800 nm.

Figura 8. Esquema de funcionamento interno de um espectrofotômetro



#### 4.8 Atividade antimicrobiana

As atividades antibacterianas foram realizadas por meio do teste de *cup plate* (DINGLE et al., 1953). Foram utilizados como microrganismo teste as bactérias Gram-positiva *Staphylococcus aureus* (ATCC 12598) e a Gram-negativa *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603).

Para a realização do bioensaio, foram selecionadas de três a cinco colônias bacterianas, bem isoladas, do mesmo tipo morfológico de cada um desses microrganismos em placa de Petri com meio ágar Müller-Hinton (MH). As colônias foram tocadas com uma alça e transferidas para tubos contendo 2 mL de solução salina esterilizada de modo a obter uma turbidez óptica comparável à da solução padrão de 0,5 a escala de McFarland. Com *swab* estéril a suspensão microbiana padronizada foi semeada em placas de Petri contendo o meio de cultivo ágar MH para bactérias.

Logo após, sobre o meio de cultura foram feitas perfurações circulares (técnica *cup plate*) com diâmetro de 0,5 cm onde foram adicionados 20 µL das amostras e as placas mantidas a 4 °C por 24 h para difusão das amostras no meio. As placas foram incubadas a 37 °C durante 18 h e posteriormente realizada a leitura dos halos de inibição com auxílio de régua de antibiograma e medido em milímetros. Os resultados foram registrados considerando-se os valores médios das três repetições.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Atividade Antimicrobiana

As nanopartículas foram testadas em dois grupos de bactérias, denominadas por gram positiva para *Staphylococcus aureus* e gram negativa para *Klebsiella pneumoniae*, conforme as figuras 9 e 10 foi possível observar o raio que se forma em torno da prata/FBG utilizando as nanopartículas selecionadas provenientes da solução de 500 ppm com 150 g de extrato.

Figura 9. Halo de inibição contra *Klebsiella pneumoniae* gram negativa.



Figura 10. Halo de inibição contra *Staphylococcus aureus* Gram Positiva.



Para as cepas gram positiva figura 10 as colônias cresceram dispersas, porém demonstrou o raio de inibição do nanocompósito contra as mesmas. Para as cepas gram negativa figura 09 as colônias cresceram conectas sendo mais facilmente a notação dos halos de inibição.

Os testes para a dispersão na formação de cultura bactericida demonstraram positivo a eficiência da prata/FBG, inibindo a formação de culturas para as cepas gram positivas e gram negativas conforme na tabela 2.

Tabela 2. Atividade antibacterial de nanopartículas provenientes da solução de 500 ppm com 150g de extrato.

|                               | <b>Microrganismos</b>        |                              |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>Amostra</b>                | <i>Staphylococcus aureus</i> | <i>Klebsiella pneumoniae</i> |
| <b>Raio de inibição média</b> | 23,3 mm                      | 20 mm                        |
| <b>Desvio padrão</b>          | Desvio padrão $20 \pm 23$    | Desvio padrão $20 \pm 20$    |
| <b>Intervalo de Confiança</b> | 95%: 11,2 mm – 35,4 mm       | 95%: 9,5 mm – 30,5 mm        |

Os resultados encontrados para as bactérias *Staphylococcus aureus* e *Klebsiella pneumoniae* mostram que as nanopartículas testadas apresentam uma atividade bactericida significativa contra essas espécies bacterianas.

No caso de *Staphylococcus aureus*, o raio de inibição médio foi de 23,3 mm, o que indica que as nanopartículas têm um efeito bactericida efetivo contra essa espécie bacteriana. Esse resultado é consistente com outras pesquisas que demonstram a eficácia das nanopartículas de prata contra *Staphylococcus aureus*, que é uma bactéria patogênica comum associada a várias infecções humanas.

Para *Klebsiella pneumoniae*, o raio de inibição médio foi de 20 mm, o que também indica que as nanopartículas de prata são capazes de inibir o crescimento dessa espécie bacteriana. Isso é significativo porque *Klebsiella pneumoniae* é uma bactéria oportunista que pode causar infecções em humanos, incluindo pneumonia, infecções do trato urinário e sepsis.

Os resultados encontrados na inibição das nanopartículas de prata contra as bactérias *Staphylococcus aureus* e *Klebsiella pneumoniae* são consistentes com outros estudos que também mostram a eficácia dessas nanopartículas como agentes bactericidas. Várias pesquisas demonstraram que as nanopartículas de prata têm um amplo espectro de atividade bactericida contra uma variedade de espécies bacterianas, incluindo bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, bem como bactérias resistentes a antibióticos.

Um estudo de revisão de literatura científica publicado por KHEZERLOU et al, 2018, destacou que as nanopartículas de prata têm sido amplamente estudadas como agentes bactericidas devido às suas propriedades antimicrobianas, incluindo a capacidade de se ligar as moléculas na superfície da célula bacteriana e causar danos à membrana celular. Outro estudo de revisão da literatura científica publicado por SINGH et al. 2018, discutiu os mecanismos de ação das nanopartículas de prata contra bactérias e como as propriedades físico-químicas das nanopartículas podem afetar a atividade bactericida.

Em conclusão, os resultados encontrados na inibição das nanopartículas de prata contra as bactérias *Staphylococcus aureus* e *Klebsiella pneumoniae* são consistentes com a literatura científica atual sobre a eficácia das nanopartículas de prata como agentes bactericidas.

## 5.2 Diâmetro hidrodinâmico

Os resultados do diâmetro hidrodinâmico das partículas nas soluções de 200 ppm e 500 ppm com o extrato da folha de bambu conhecida aqui como FBG. Estão relacionados na tabela 3.

Tabela 3. Diâmetro hidrodinâmico das partículas concentrações de 200 ppm e 500 ppm.

|                            | <b>0,007 g de<br/>extrato FBG</b> | <b>0,015 g de<br/>extrato FBG</b> | <b>0,022 g de<br/>extrato FBG</b> | <b>Anova</b>                       |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Amostra<br/>200 ppm</b> | 84,29 ± 53,22<br>nm               | 80,53 ± 51,81<br>nm               | 77,64 ± 55,04<br>nm               | f-valor=0,408<br>p-valor= 0,6401   |
| <b>Amostra<br/>500 ppm</b> | 77,72 ± 62,45<br>nm               | 54,67 ± 42,48<br>nm               | 59,80 ± 47,50<br>nm               | f-valor= 1,5291<br>p-valor= 0,2652 |

Tabela 4. Dados estatísticos para o Diâmetro Hidrodinâmico das partículas.

|                            | <b>Média</b> | <b>Desvio<br/>Padrão</b> | <b>Intervalo de Confiança</b> |
|----------------------------|--------------|--------------------------|-------------------------------|
| <b>Amostra<br/>200 ppm</b> | 80,15 nm     | 53,02 nm                 | (95%): 71,01 nm - 89,28 nm    |
| <b>Amostra<br/>500 ppm</b> | 64,06 nm     | 8,84 nm                  | (95%): 56,95 nm - 71,17 nm    |

Resultados encontrados nas amostras de 200 ppm sugerem que as partículas de prata sintetizadas com extrato vegetal nesta concentração apresentam um tamanho

relativamente homogêneo, mas com uma grande variação em relação à média. Os resultados para a concentração de 500 ppm indicam que as partículas de prata sintetizadas com extrato vegetal nesta concentração apresentam um tamanho mais homogêneo em relação à média do que a concentração de 200 ppm, com um desvio padrão menor. Isso pode ser devido a uma maior eficiência de aglomeração ou coalescência em concentrações mais altas, que pode levar a partículas menores.

Como o valor  $p$  é maior que 0,05, podemos assumir que não há diferenças significativas entre as médias dos grupos, a estatística ANOVA aplicada aos dados de diâmetro hidrodinâmico das partículas nas concentrações 200 ppm e 500 ppm não apresentou diferenças significativas entre as médias dos grupos, indicando que a concentração não tem um efeito significativo no diâmetro hidrodinâmico das partículas.

De acordo com a literatura científica, o diâmetro hidrodinâmico das nanopartículas de prata geralmente varia de cerca de 5 a 100 nm, dependendo do método de síntese e das condições experimentais utilizadas (HAJIPOUR et al., 2012). Alguns estudos relatam que as partículas de prata menores apresentam maior eficácia antimicrobiana em comparação com partículas maiores (MORONES et al., 2005; SONDI & SALOPEK-SONDI, 2004). No entanto, o tamanho ideal das partículas de prata para aplicações específicas pode variar amplamente dependendo do objetivo da aplicação e das propriedades desejadas (ELECHIGUERRA et al., 2005).

Em relação aos resultados encontrados neste estudo, as partículas de prata sintetizadas com extrato vegetal apresentaram diâmetros hidrodinâmicos entre 54,67 e 84,29 nm na concentração de 200 ppm, e entre 59,80 e 77,72 nm na concentração de 500 ppm. Esses resultados estão dentro da faixa de diâmetro hidrodinâmico observada em outros estudos sobre síntese de nanopartículas de prata com diferentes métodos (HAJIPOUR et al., 2012).

No entanto, é importante ressaltar que o tamanho das partículas pode variar dependendo do método de síntese utilizado e das condições experimentais, como a concentração do agente redutor, tempo de reação e pH da solução de síntese (HAJIPOUR et al., 2012). Além disso, é necessário levar em consideração outras características das partículas de prata, como sua morfologia, cristalinidade, estabilidade e reatividade, para avaliar sua qualidade e aplicabilidade em diferentes campos (ELECHIGUERRA et al., 2005).

Figura 11. Representação do diâmetro hidrodinâmico para amostra de 200 ppm extrato aquoso da folha de bambu gigante, todas concentrações analisado.

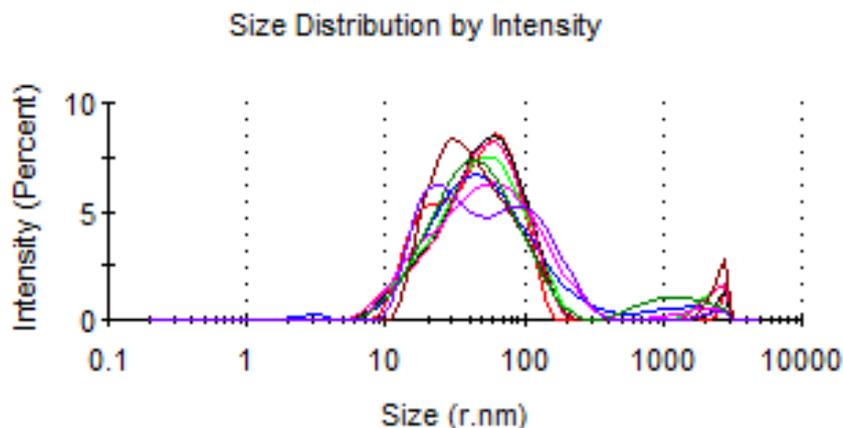
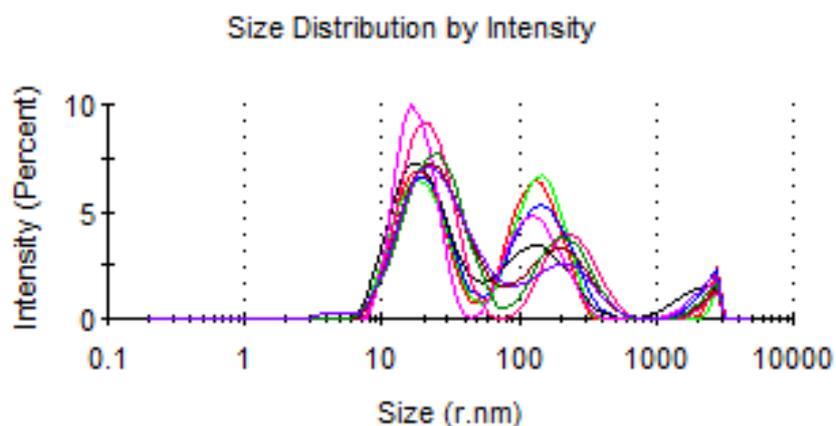


Figura 12. Representação do diâmetro hidrodinâmico para amostra de 500 ppm extrato aquoso da folha de bambu gigante, todas as concentrações.



### 5.3 Potencial Zeta

Os resultados do potencial Zeta das nanopartículas medidos através do equipamento Zetasizer – ZS90 conforme na figura 13 e 14 para as soluções de 200 ppm e 500 ppm com o extrato aquoso da folha de bambu gigante conhecida aqui como FBG. Estão relacionados na tabela 3.

O potencial zeta encontrado denomina estabilidade na metodologia utilizada para redução do Nitrato de Prata ( $\text{AgNO}_3$ ) com o extrato aquoso da FBG, bem condizentes para todas as amostras, com exceção da amostra a 200 ppm com concentração de 0,007 g do extrato. As tabelas 5 e 6 demonstram o potencial zeta encontrado em cada concentração e também sua média, desvio padrão e intervalo de confiança.

Tabela 5. Potencial zeta das partículas nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm.

|                        | <b>0,007 g de extrato</b> | <b>0,015 g de extrato</b> | <b>0,022 g de extrato</b> |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                        | <b>FBG</b>                | <b>FBG</b>                | <b>FBG</b>                |
| <b>Amostra 200 ppm</b> | 0,143 mV                  | -22,2 mV                  | -24,8 mV                  |
| <b>Amostra 500 ppm</b> | -24,1 mV                  | -23,8 mV                  | -23,2 mV                  |

Tabela 6. Média, desvio padrão e intervalo de confiança do Potencial Zeta das partículas nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm.

|                        | <b>Média</b> | <b>Desvio padrão</b> | <b>Intervalo de confiança</b> |
|------------------------|--------------|----------------------|-------------------------------|
| <b>Amostra 200 ppm</b> | -15,63 mV    | 14,61 mV             | (95%): -28,70 mV a -2,56 mV   |
| <b>Amostra 500 ppm</b> | -23,7 mV     | 0,44 mV              | -24,49 mV a -22,91 mV         |

A média para a concentração de 200 ppm foi de -15,63 mV, enquanto a média para a concentração de 500 ppm foi de -23,7 mV. Isso sugere que as partículas em solução a 500 ppm possuem uma carga mais negativa do que as partículas a 200 ppm, o que pode ser devido a uma maior concentração de íons presentes na solução.

Além disso, o desvio padrão para a concentração de 200 ppm foi de 14,61 mV, enquanto o desvio padrão para a concentração de 500 ppm foi de 0,44 mV. Essa diferença indica que a distribuição de potencial zeta das partículas na concentração de 500 ppm é mais homogênea e menos variável do que a distribuição de potencial zeta das partículas na concentração de 200 ppm.

O potencial zeta é uma medida importante para caracterizar as propriedades de superfície das nanopartículas de prata, já que a carga elétrica das partículas é um fator crucial para sua estabilidade em solução. Conseqüentemente, o potencial zeta pode ser utilizado como um indicador da estabilidade coloidal das nanopartículas de prata em diferentes meios.

Os resultados obtidos na análise do potencial zeta das partículas de prata podem variar dependendo de vários fatores, como o tamanho e forma das partículas, o solvente utilizado, a concentração de íons presentes na solução, entre outros. De acordo com a

literatura científica, o potencial zeta ideal para garantir a estabilidade coloidal das nanopartículas de prata em solução deve ser superior a +/- 30 mV.

Várias pesquisas têm investigado a influência de diferentes fatores nas propriedades das nanopartículas de prata, incluindo o potencial zeta. Por exemplo, um estudo realizado por KHEZERLOU et al. 2018, analisou o potencial zeta de nanopartículas de prata sintetizadas utilizando extrato de folhas de aroeira e verificou que as partículas apresentaram um potencial zeta médio de -28,4 mV, sugerindo uma alta estabilidade coloidal.

Um estudo realizado por ALAHMAD et al. (2017) investigou a síntese de nanopartículas de prata utilizando extrato de folhas de *Hypericum perforatum* L. Os resultados mostraram que as nanopartículas apresentaram um pZ médio de -19 mV.

No entanto, é importante ressaltar que os resultados do potencial zeta podem variar dependendo do método de síntese e dos protocolos experimentais utilizados.

Os resultados obtidos podem ser influenciados por vários fatores, mas a comparação com dados da literatura científica pode fornecer informações valiosas sobre as propriedades das partículas e ajudar a otimizar as condições experimentais.

Figura 13. Representação dos picos encontrados do Potencial Zeta para amostra de 200 ppm com EBG analisados no zetalyzer.

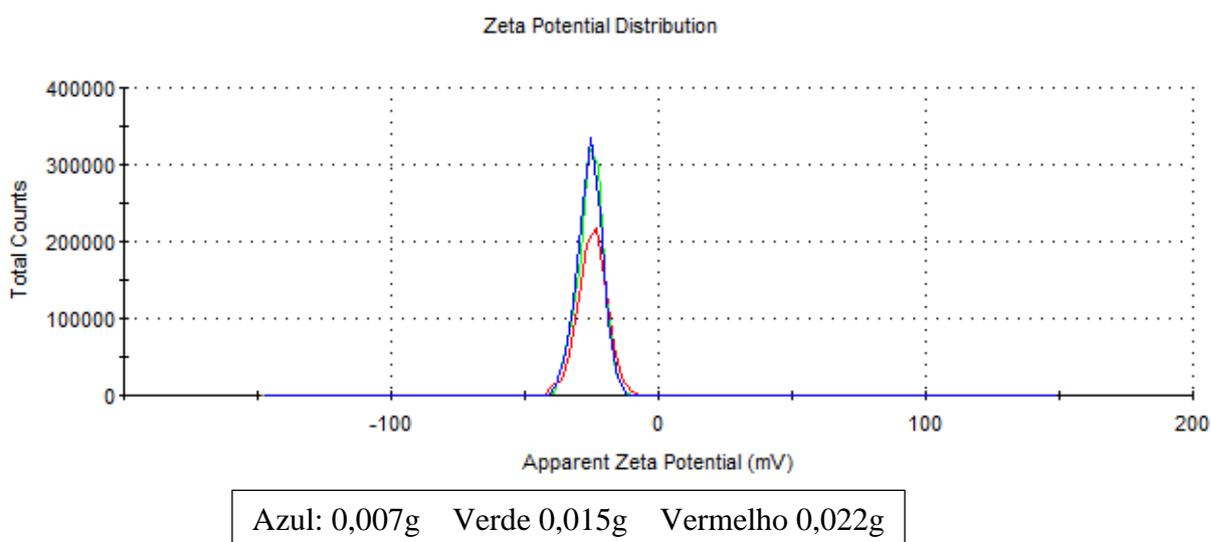
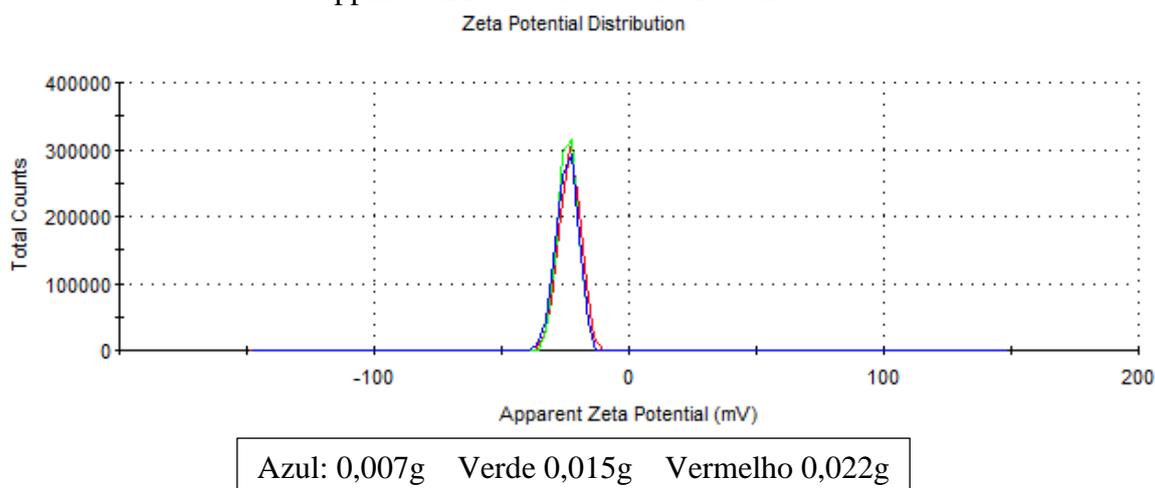


Figura 14. Representação dos picos encontrados do Potencial Zeta para amostra de 500 ppm do EBG analisados no zetasizer.



#### 5.4 Índice de Polidispersão

As amostras obtiveram valor de PDI próximo a faixa, sendo eles para 200 ppm 0,399 em 0,007 g de extrato, 0,414 para 0,015 g de extrato e 0,503 para 0,022 g de extrato, para as amostras de 500 ppm foram encontrados o índice de polidispersão de 0,646 em 0,007 g de extrato, 0,614 g para 0,015 g de extrato e 0,631 g para 0,022 g de extrato, sendo eles conforme a tabela 7 e a média, desvio padrão e intervalo de confiança conforme tabela 8.

Tabela 7. Polidispersão das nanopartículas de prata com extrato aquoso da FBG.

| Concentração Solução     | Extrato aquoso 0,007 g | Extrato aquoso 0,015 g | Extrato aquoso 0,022 g |
|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nitrato de Prata 200 ppm | 0,399                  | 0,414                  | 0,503                  |
| 500 ppm                  | 0,646                  | 0,614                  | 0,631                  |

Tabela 8. Média, desvio padrão e intervalo de confiança da Polidispersão das nanopartículas de prata com extrato aquoso da FBG.

| Concentração Solução     | Média | Desvio padrão | Intervalo de confiança |
|--------------------------|-------|---------------|------------------------|
| Nitrato de Prata 200 ppm | 0,439 | 0,052         | (95%): 0,359 - 0,518   |
| 500 ppm                  | 0,630 | 0,016         | (95%): 0,597 - 0,663   |

Os resultados encontrados na polidispersão das nanopartículas de prata nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm são de  $0,439 \pm 0,052$  e  $0,630 \pm 0,016$ , respectivamente. Observando esses valores, podemos ver que as amostras apresentam um

nível moderado a alto de polidispersão, com valores acima do ideal recomendado para a estabilidade de nanopartículas de prata.

De acordo com a literatura científica, um índice de polidispersão abaixo de 0,2 é geralmente considerado ideal para a estabilidade de nanopartículas de prata. Alguns estudos indicam que um alto índice de polidispersão pode levar a uma maior instabilidade das nanopartículas, resultando em agregação, sedimentação ou perda de atividade biológica.

Segundo SINGH et al., 2016, discute a importância de avaliar a polidispersão para garantir a estabilidade das nanopartículas em solução e, portanto, a eficácia de sua aplicação em diferentes campos. O estudo menciona que muitos extratos vegetais contêm compostos que podem ajudar a controlar o tamanho e a polidispersão das nanopartículas sintetizadas, incluindo polifenóis, alcaloides e ácidos orgânicos. No entanto, o estudo também aponta a necessidade de investigar profundamente os mecanismos subjacentes à síntese de nanopartículas a partir de extratos vegetais e sua relação com a polidispersão e outras propriedades das nanopartículas.

Portanto, embora os resultados obtidos neste estudo indiquem um nível moderado a alto de polidispersão, é importante considerar outros fatores que podem afetar a estabilidade das nanopartículas de prata. Novos estudos devem ser realizados para avaliar a influência desses fatores e encontrar estratégias para melhorar a estabilidade das nanopartículas de prata em diferentes condições.

## **5.5 UV-Vis**

As NPs<sub>Ag</sub> apresentam banda de ressonância plasmônica de superfície com pico aproximadamente entre 415 nm a 435 nm presentes na figura 15 e 16, indicando que houve formação de NPs produzidas com extrato da folha de bambu gigante.

O intervalo de pico na absorção UV-Vis de nanopartículas de prata geralmente é utilizado para identificar o tamanho e a forma das partículas. Em geral, a absorção ocorre em comprimentos de onda mais curtos para partículas esféricas em comparação com partículas de bastão. Isso ocorre porque a ressonância plasmônica é influenciada pela forma da partícula e pela polarização da onda eletromagnética (campo elétrico) incidente.

No caso das amostras analisadas com concentrações de 200 ppm e 500 ppm, o pico de absorção na faixa de 415 a 435 nm sugere a presença de nanopartículas de prata esféricas, uma vez que este comprimento de onda é típico das partículas nessa forma esférica.

Figura 15. Espectroscopia UV-Vis concentração 200 ppm com extrato aquoso da FBG.

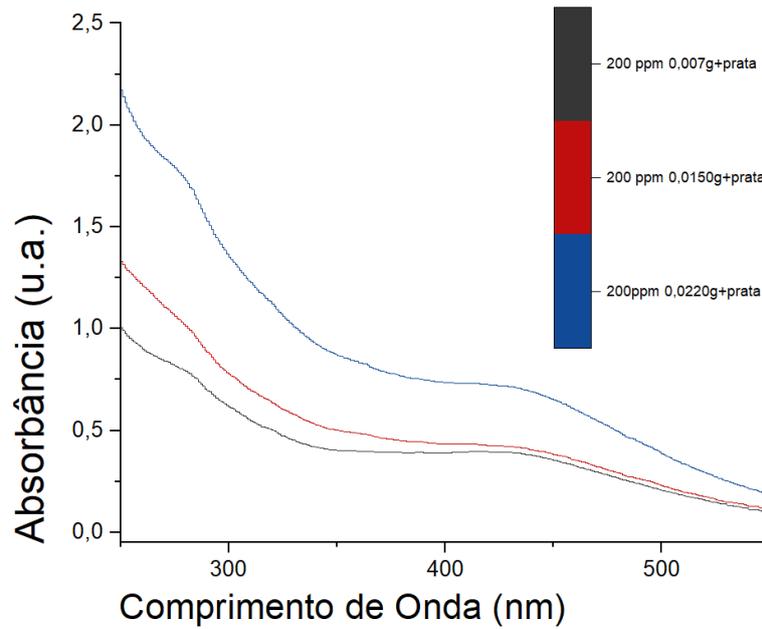
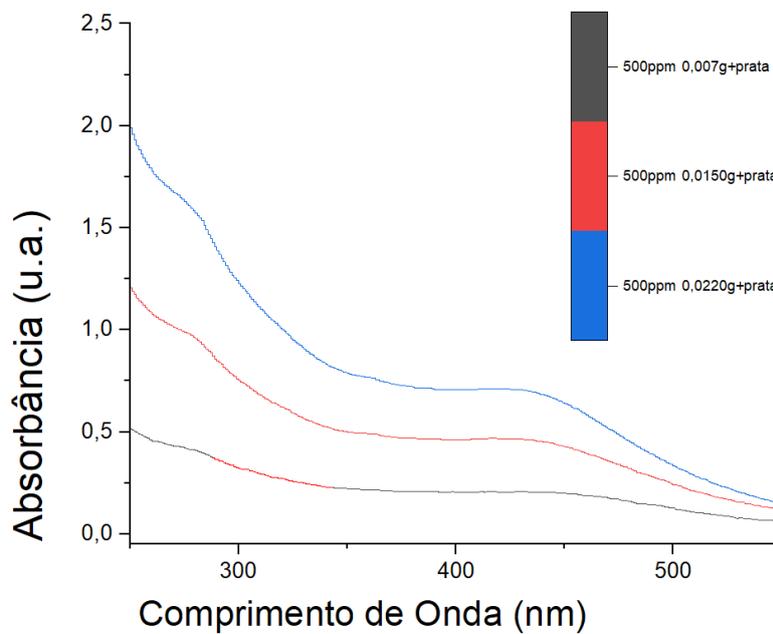


Figura 16. Espectroscopia UV-Vis concentração 500 ppm com extrato aquoso da FBG.



Os picos de absorção de UV-Vis observados nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm em torno de 415-435 nm sugerem a presença da ressonância plasmônica de superfície das nanopartículas de prata com tamanhos médios na faixa de 10-100 nm.

Nanopartículas de prata com superfície de ressonância plasmônica (SPR) na região de 415-435 nm são frequentemente referidas como "nanopartículas de prata vermelha" devido à sua cor característica quando dispersas em solução. Nestas variações de pico ocorre uma variação de cor característica que varia de marrom avermelhado para marrom escuro, de acordo com o tamanho das NPs formadas (ALBERNAZ, 2014). LOO et al., (2012) mostraram que usando *Camellia sinensis* como agente redutor o pico foi obtido em 436 nm, enquanto VILCHIS-NESTOR et al., (2008) também utilizando *C. sinensis* o pico foi em 430 nm.

Segundo o trabalho de DIAS et al. 2021, utilizando extrato de *P. lambertii* como redutor é observado bandas de ressonância de plasmônica de superfície (SPR) e seus picos estáveis de máxima absorbância em 416 nm. IVACHUK et al. 2020, também encontra bandas de absorbância ao utilizar extrato aquoso da folha da *Bougainvillea glabra choisy*, no pico de 400 nm.

Os resultados encontrados na absorbância das nanopartículas de prata nas concentrações de 200 ppm e 500 ppm, com picos de absorção em torno de 415-435 nm, são consistentes com os resultados esperados para nanopartículas de prata com extratos aquosos de origem vegetal, conforme encontrados na literatura científica.

## **5.6 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier – FTIR**

O FTIR espectro de nanopartículas de prata é mostrado na Figura 17. A banda em 3287 ,13949 e 1112  $\text{cm}^{-1}$  corresponde O-H esticando álcoois e fenóis ligados por hidrogênio. O pico em 2939  $\text{cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento C-H alcanos. A atribuição em 1764  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a C=O ácido carboxílico. O pico em 1597  $\text{cm}^{-1}$  corresponde ao estiramento N-O composto nitrogenado, o comprimento 1049  $\text{cm}^{-1}$  de Estiramento CO-O-CO corresponde a anidridos, as bandas observadas em 832 e 654  $\text{cm}^{-1}$  corresponde Estiramento C-Cl e Estiramento C-Br compostos halogenados.

Figura 17. Espectroscopia infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da prata/extrato aquoso da FBG.

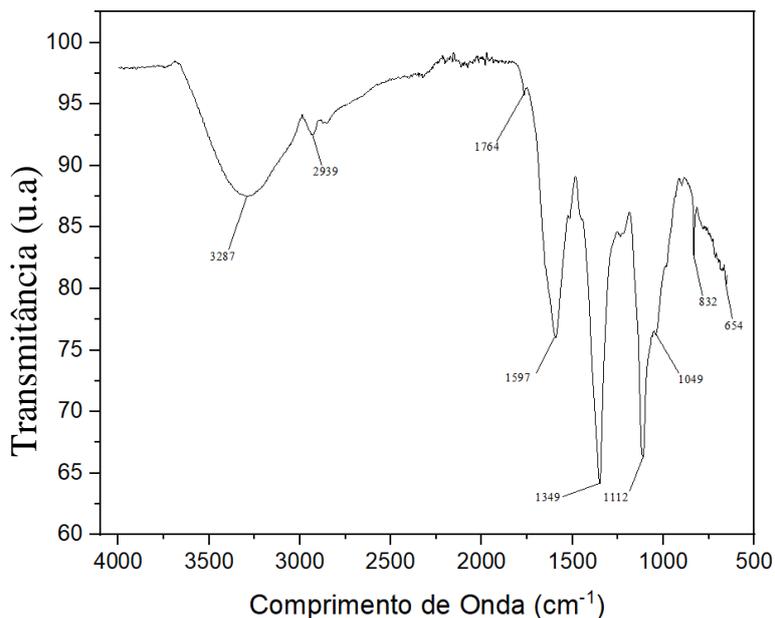


Tabela 9. Índice de picos relacionados ao comprimento de onda das biossínteses do FTIR.

| Comprimento de Onda (cm <sup>-1</sup> ) | Aspecto da banda | Grupo               | Classe do composto   |
|---|------------------|---------------------|----------------------|
| 3287                                    | Forte            | Estiramento O-H     | Álcool               |
| 2939                                    | Médio            | Estiramento C-H     | Alcano               |
| 1764                                    | Forte            | Estiramento C=O     | Ácido Carboxílico    |
| 1597                                    | Forte            | Estiramento N-O     | Composto Nitrogenado |
| 1349                                    | Médio            | Dobramento O-H      | Álcool               |
| 1112                                    | Forte            | Estiramento C-O     | Álcool Secundário    |
| 1049                                    | Forte            | Estiramento CO-O-CO | Anidrido             |
| 832                                     | Forte            | Estiramento C-Cl    | Composto Halogenado  |
| 654                                     | Forte            | Estiramento C-Br    | Composto Halogenado  |

Os resultados obtidos nos picos de absorbância de FTIR das nanopartículas de prata reduzidas com extrato vegetal podem ser comparados com outros estudos que utilizaram extratos vegetais na síntese de nanopartículas de prata. Por exemplo, um estudo de PHILIP, 2010, mostrou a presença de picos de absorbância em torno de 3285 cm<sup>-1</sup>, 2923 cm<sup>-1</sup>, 1655 cm<sup>-1</sup> e 1387 cm<sup>-1</sup> em nanopartículas de prata reduzidas com extrato de folhas de *moringa oleífera*. Estes picos de absorbância foram atribuídos à presença de grupos OH, grupos alifáticos, grupos C=O e grupos C-H, respectivamente.

Estudo de KATTI et al., 2006, relatou a presença de picos de absorbância em torno de 3310 cm<sup>-1</sup>, 2930 cm<sup>-1</sup>, 1650 cm<sup>-1</sup> e 1380 cm<sup>-1</sup> em nanopartículas de prata reduzidas com extrato de folhas de *Acalypha indica*. Estes picos de absorbância foram atribuídos à presença de grupos OH, grupos alifáticos, grupos C=O e grupos C-H, respectivamente.

Além disso SANHATHOSHKUMAR, RAJESHKUMAR & KUMAR, 2017, também relataram a presença de picos de absorvência em torno de  $1650\text{ cm}^{-1}$  e  $1380\text{ cm}^{-1}$  em nanopartículas de ouro.

Outro estudo THAKUR, KUMAR & KUMAR, 2019, relatam O espectro FTIR de nanopartículas de dióxido de titânio biossintetizadas mostrou picos em  $1166,92$  atribuído a grupos  $\text{C} = \text{C}$  de anéis aromáticos. pico em  $1091,86$  denota as vibrações  $\text{C} = \text{O}$  de ácido carboxílico e pico em  $709,62$  correspondem ao estiramento  $\text{Ti} - \text{O} - \text{Ti}$  vibração de nanopartículas de dióxido de titânio. Observações semelhantes foram também relatados por VASCONCELOS et al. (2011) e YILMAZ et al. (2011)

Em geral, os resultados obtidos nos picos de absorvência de FTIR das nanopartículas de prata reduzidas com extrato aquoso da FBG são consistentes com os resultados relatados na literatura científica para nanopartículas de prata sintetizadas com diferentes extratos vegetais. Isso sugere que a síntese de nanopartículas de prata com extratos vegetais é um método robusto e reprodutível, capaz de produzir partículas com diferentes grupos funcionais na superfície.

## 6. CONCLUSÕES

O extrato da folha de bambu gigante *Dendrocalamus Giganteus* demonstrou grande eficiência em ser redutor do nitrato de prata para a formação das nanopartículas de prata, se tratando de uma biossíntese rápida, de custo baixo e ecologicamente correto. Bem como condizente com os efeitos em atividades antimicrobiana, resultou em inibições das bactérias gram positiva e gram negativa. Através dos parâmetros utilizados para caracterizar a nanopartículas foram encontradas bandas satisfatórias com potencial Zeta, índice de Polidispersão (PDI) que sugere a homogeneidade do sistema e quanto menor o valor obtido, preferencialmente  $\leq 0,2$ , maior o grau de homogeneidade da amostra e também o diâmetro hidrodinâmico, conduzindo ao equiparar das partículas sua estabilidade pela redução, com tudo as bandas encontradas nas análises realizadas pelo UV-Vis nos mostram a ressonância plasmônica de superfície distinguidos por serem tratadas como nanopartículas esféricas, os parâmetros encontrados pelas análises de FTIR, demonstram os picos dos grupos funcionais encontrados na biossínteses, sendo eles os maiores para grupos alcoólicos, no qual reflete ao grupo que as nanopartículas estão ligadas. Concluindo a utilização do extrato aquoso como redutor da prata para a formação de nanopartículas de prata, é uma metodologia promissora que pode aumentar a eficiência da prata a meio de atividades antimicrobianas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAHMAD, A.; et al. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Hypericum perforatum* L. Aqueous Extract with the Evaluation of Its Antibacterial Activity against Clinical and Food Pathogens. *Pharmaceutics*, v. 14, n. 5, p. 1104, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14051104>. Acesso em: 24 fev. 2023.

ALBERNAZ, V. L. Síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de folhas de *Brosimum gaudichaudii*, caracterização físicoquímica, morfológica e suas aplicações no desenvolvimento de um nanobiossensor eletroquímico. Dissertação (Mestrado). Pós-graduação em nanociência e nanotecnologia. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília. Brasília, 2014

ARAUJO, Jônatas Targino; AMORIM, Laudenor; DEUS, Ênio Pontes de; MELO, Santino Loruan Silvestre de. Obtenção de nanopartículas de celulose por hidrólise ácida provenientes de fibras longas de bambu. In: ABM ANNUAL CONGRESS, 72º., 02 a 06 out. 2017, São Paulo, SP, Brasil. Anais [...], São Paulo, v. 72, n.72, p. 2390-2396, 2017.

AZZINI, A.; SANTOS, R.L.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Bambu: material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997.

BISWAS, P.; WU, Chang-Yu. Nanoparticles and the Environment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 55, n. 6, p. 708-746, 2005. DOI: 10.1080/10473289.2005.10464656.

CHUNG, Il-min et al. Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles: Their Characteristic Properties and Therapeutic Applications. *Nanoscale Research Letters*, 2016. DOI: 10.1186/s11671-016-1257-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s11671-016-1257-4>. Acesso em: 17 jan. 2023.

CIENFUEGOS, Freddy. Coordenador dos laboratórios da Polibrasil. In: Espectroscopia de absorção de IV por transformada de Fourier. [S. l.], 25 dez. 2003. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/analise-espectroscopia-de-absorcao-de-iv-por-transformada-de-fourier/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

DESHMUKH, SP; PATIL, SM; MULLANI, SB; DELEKAR, SD. Silver nanoparticles as an effective disinfectant: A review. *Mat. Sci. Eng. C*, v. 97, p. 954-965, 2019.

DHAND, V.; SOUMYA L.; BHARADWAJ, S.; CHAKRA, S.; BHATT, D.; SREEDHAR, B. Green synthesis of silver nanoparticles using *Coffea arabica* seed extract and its antibacterial activity. *Materials Science and Engineering C*, v. 58, p. 36-43, 2016.

DIAS, D. V. S. et al. Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extrato metanólico de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl / Green synthesis of silver nanoparticles using methanol extract of *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl. *Brazilian*

Journal of Development, v. 7, n. 4, p. 42062-42072, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-595>. Acesso em: 24 fev. 2023.

DINGLE, J.; TEID, W. W.; SOLOMONS, G. L. The enzymic degradation of pectin and other polysaccharides. Journal of Science of Food and Agriculture, v. 4, p. 145-149, 1953.

DURÁN, N.; ROLIM, W. R.; DURÁN, M.; FÁVARO, W. J.; SEABRA, A. B. Nanotoxicologia de nanopartículas de prata: toxicidade em animais e humanos. Química Nova, v. 42, n. 2, p. 206-213, 2019. DOI: 10.21577/0100-4042.20170318

ELATTI, L. C. et al. Staphylococcus aureus resistentes à meticilina: disseminação emergente na comunidade. Anais Brasileiros de Dermatologia, v. 84, n. 5, p. 501-506, 2009.

ELECHIGUERRA, J. L. et al. Interaction of silver nanoparticles with HIV-1. Journal of Nanobiotechnology, v. 3, n. 1, p. 6, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-3-6>. Acesso em: 24 fev. 2023.

FERNANDES, P. É. Síntese, caracterização e ação antimicrobiana de nanopartículas de prata. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, 2014.

GARCIA, Marcus Vinicius Dias. Síntese, caracterização e estabilização de nanopartículas de prata para aplicações bactericidas em têxteis. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

GARDEA, Torresdey JL, Gomez E, Peralta-Videa JR, Parsons JG, Troiani H, Jose-Yacaman M. Alfalfa sprouts: a natural source for the synthesis of silver nanoparticles. Langmuir, v.19, p. 1357-1361, 2003. DOI: 10.1021/la026450p.

HAIYUN, Liu, D. et al. Fabrication and properties of transparent polymethylmethacrylate/cellulose nanocrystals composites bioresource technology, v. 101, p. 5685-5692, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.02.080.

HAIPOUR, M. J. et al. Antibacterial properties of nanoparticles. Trends in Biotechnology, v. 30, n. 10, p. 499-511, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>. Acesso em: 24 fev. 2023.

IVACHUK, V.; SILVA, V.; RAQUEL DE FREITAS RODRIGUES, D.; ROEHR, R.; DE JESUS SOARES, J.; ELISA HAAS, S.; LUIS GASPAROTTO DENARDIN, E. Caracterização de nanopartículas de prata obtidas por síntese verde através de UV/VIS e FTIR. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/106163>. Acesso em: 24 fev. 2023.

KHANNA, P. K. et al. Water based simple synthesis of re-dispersible silver nanoparticles. *Materials Letters*, v. 61, n. 16, p. 3366-3370, 2007. ISSN: 0167-577X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X06013851>. Acesso em: 02 de janeiro de 2023.

KHEZERLOU, A.; ALIZADEH-SANI, M.; AZIZI-LALABADI, M.; EHSANI, A. Nanoparticles and their antimicrobial properties against pathogens including bacteria, fungi, parasites and viruses. *Microb Pathog*, [S.l.], v. 123, p. 505-526, out. 2018. DOI: 10.1016/j.micpath.2018.08.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0882401018304567>. Acesso em: 24 fev. 2023. PMID: 30092260.

KUMAR, V.; YADAV, S. K. Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 84, n. 2, p. 151-157, 2009. DOI: 10.1002/jctb.2023.

KURMA, T.; ZHANG, Q.; LI, J.; LI, L.; JIN, R. Stimuli-Responsive DNA-Functionalized Metal–Organic Frameworks (MOFs): A Multipolar Plasmonic Platform for Label-Free SERS Analysis. *Advanced Materials*, v. 28, n. 43, p. 9511–9518, 2016. ISSN 0935-9648. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.201602782>. Acesso em: 24 fev. 2023. doi: [www.doi.org/10.1002/adma.201602782](http://www.doi.org/10.1002/adma.201602782).

LONDOÑO, X. Distribuição, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues de lo Nuevo Mundo. In: CONGRESO COLOMBIANO DE BOTÂNICA, 3., 2004, Popayan. Anais. Popayan, 2004. 25p.

LOO, Y. Y.; CHIENG, B. W.; NISHIBUCHI, M.i; RADU, S. Synthesis of silver nanoparticles by using tea leaf extract from *Camellia Sinensis*. *International Journal of Medicine*. Vol. 2. P 4263-4267, 2012.

MELO, M. A. et al. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. *Química Nova*, São Paulo, v. 35, n. 9, p. 1808-1813, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000900030>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/wfcctywf33BdvbMBYmCxPg/?lang=pt>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MORONES, J. R. et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, v. 16, n. 10, p. 2346-2353, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059>. Acesso em: 24 fev. 2023.

NAVARRO, E. et al. Toxicity of Silver Nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*. *Environmental Science & Technology*, [s. l.], v. 42, n. 23, p. 8959–8964, 1 out. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/es801785m>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es801785m>. Acesso em: 12 jan. 2023.

NICHOLAS, S. Wigginton, et al. Binding of Silver Nanoparticles to Bacterial Proteins Depends on Surface Modifications and Inhibits Enzymatic Activity. *Environmental Science & Technology*, v. 44, n. 6, p. 2163-2168. 2010. DOI: 10.1021/es903187s.

OSTAPIV, F. Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubences*) com foco em pisos. Curitiba: UTFPR, 2007. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

PAIXÃO, D. R. Utilização de carvões ativados de bambu (*Guadua weberbaueri* pilger) funcionalizados com nanopartículas de prata ou óxido de ferro no tratamento de água. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.11, p. 103952-103972, 2021.

PAL, S.; TAK, Y. K.; SONG, J. M. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 73, n. 6, p. 1712-1720, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/AEM.02218-06>. Acesso em: 24 fev. 2023.

PAPER, R.; SABRI, M. A.; UMER, A.; AWAN, G. H.; HASSAN, M. F.; HASNAIN, A. Selection of Suitable Biological Method for the Synthesis of Silver Nanoparticles Regular Paper, 2016, p. 1-20.

PATIL, R. S.; KOKATE, M. R.; KOLEKAR, S. S. Bioinspired synthesis of highly stabilized silver nanoparticles using *Ocimum tenuiflorum* leaf extract and their antibacterial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 91, p. 234-238, 2012.

RAI, Mahendra. Nanobiotecnologia verde: biossínteses de nanopartículas metálicas e suas aplicações como nanoantimicrobianos. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 65, n. 3, p. 44-48, 2013. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252013000300014&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252013000300014&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 17 jan. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S000967252013000300014>.

RANI PU, Rajasekharreddy P. Green synthesis of silver-protein (core-shell) nanoparticles using Piper betle L. leaf extract and its ecotoxicological studies on *Daphnia magna*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 389, p. 188-194, 2011.

RAVANI, S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, v. 13, n. 10, p. 2638-2650, 2011.

ROATA, Camila Suliani. Síntese verde de nanopartículas de prata a partir do extrato do bagaço de *Vitis labrusca* (cultivar Ives), caracterização e aplicação na desinfecção de efluentes industriais. 2018. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

ROSA, C. et al. Construção de espectrofotômetro visível para fins didáticos. *Journal of Exact Sciences*, v.21, n.1, p. 20-25, 2019. Disponível em: [https://www.mastereditora.com.br/periodico/20190407\\_145828.pdf](https://www.mastereditora.com.br/periodico/20190407_145828.pdf). Acesso em: 17 jan. 2023.

SALAM, H. A. et al. Plants: green route for nanoparticle synthesis. *International Research Journal of Biological Sciences*, v. 1, n. 5, p. 6, 2012.

SAMPAIO, Guilherme Moisés. Nanopartículas magnéticas: simulações para o regime superparamagnético. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Sorocaba, 2016.

SANCHEZ-LOPEZ, E. et al. Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: an overview. *Nanomaterials*, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 292, fev. 2020. ISSN 2079-4991. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2079-4991/10/2/292>. Acesso em: 24 fev. 2023. doi: [www.doi.org/10.3390/nano10020292](http://www.doi.org/10.3390/nano10020292).

SANHTHOSHKUMAR, J.; RAJESHKUMAR, S.; VENKAT KUMAR, S. Phyto-assisted synthesis, characterization and applications of gold nanoparticles – A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, v. 11, p. 46-57, 2017. ISSN 2405-5808. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.06.004>. Acesso em: 13 mar. 2023.

SENA, A. E. C. et al. Síntese, caracterização e análise antimicrobiana de nanopartículas de prata utilizando extrato de *Humirianthera ampla* como agente redutor. *South Am J Basic Educ Tech Technol*, v. 8, n. 2, p. 664-676, 2021.

SHINDE, N. M.; LOKHANDE, A. C.; LOKHANDE, C. D. A green synthesis method for large area silver thin film containing nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 136, p. 19-25, 2014.

SILVA FILHO, J. P. B. Caracterização anatômica de *Filgueirasia arenicola* (McClure) Guala (POACEAE: BAMBUSOIDEAE: ARTHROSTYLIDIINAE). 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, L. P. Síntese verde de nanopartículas de prata com extrato aquoso de folhas de *Brosimum gaudichaudii*, caracterização físico-química, morfológica e suas aplicações no desenvolvimento de um nanobiossensor eletroquímico. 2014. 121 f., il. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SINGH, J. et al. "Green" synthesis of metals and their oxide nanoparticles: Applications for environmental remediation. *Journal of Nanobiotechnology*, v. 16, n. 1, p. 1-24, 2018. DOI: 10.1186/s12951-018-0408-4.

SINGH, P.; KIM, Y. J.; ZHANG, D.; YANG, D. C. Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. Trends in Biotechnology, v. 34, n. 7, p. 588-599, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.02.006>. Acesso em: 24 fev. 2023.

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, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.012>. Acesso em: 24 fev. 2023.

SOURAV, Bhattacharjee, DLS and zeta potential – What they are and what they are not?. Journal of Controlled Release, v. 235, 2016, Pages 337-351, ISSN 0168-3659, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.06.017>. Acesso em: 24 fev. 2023.

STOIMENOV, P.K.; KLINGER, R.L.; MARCHIN, G.L.; KLABUNDE, K.J. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents, Langmuir, v. 18, p. 6679-6686, 2002. DOI: [doi.org/10.1021/la0202374](https://doi.org/10.1021/la0202374)

VASCONCELOS, D.C. et al. Infrared spectroscopy of titania sol-gel coatings on 316L stainless steel. Mater. Sci. Appl., v. 2, p. 1375-1382, 2011. DOI: [10.4236/msa.2011.210186](https://doi.org/10.4236/msa.2011.210186). Acesso em: 13 fev. 2023.

VILCHIS-NESTOR, A. R. et al. Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using Camellia sinensis extract. Materials Letters. Vol. 62. P 3103-3105, 2008.

YILMAZ, M. et al. Biosynthesis of silver nanoparticles using leaves of Stevia rebaudiana. Mater. Chem. Phys., v. 130, p. 1195-1202, 2011. DOI: [10.1016/j.matchemphys.2011.08.068](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.08.068). Acesso em: 13 fev. 2023.