



## **ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA ESTABILIZADAS EM EXTRATO DE IPÊ-ROXO (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.)**

*Eduardo Feitosa da Conceição<sup>1</sup>, Deuzuita dos Santos Freitas Viana<sup>2</sup>, Alexandre Fernando Rodrigues Rocha<sup>3</sup>, Vitor de Moraes da Silva<sup>4</sup>, Joseph Gabriel Coutinho Vieira<sup>5</sup>, Antônio Marcos Medeiros de Oliveira<sup>6</sup>, Byanca Taumaturgo Bezerra de Menezes<sup>7</sup>, Marcos Vinícios Alves de Sá<sup>8</sup>, Larissa Nascimento dos Santos<sup>9</sup>, Thalia Macedo Lizanio<sup>10</sup>*

### [Artigo Original](#)

#### **RESUMO**

A estabilidade química de nanoestruturas metálicas é uma das principais dificuldades enfrentadas durante o seu desenvolvimento e constitui um obstáculo para a sua aplicação. Desse modo, objetivou-se com este trabalho avaliar a estabilidade de nanopartículas de prata (NPsAg), estabilizadas em extrato de *Tabebuia impetiginosa* através da síntese verde. Para a síntese das NPsAg, 500 ml de uma solução de nitrato de prata foi aquecida sob agitação magnética numa chapa aquecedora até entrar em ebulição. Atingida a temperatura de ebulição, foi adicionado a esta solução 1 ml de uma solução de citrato de sódio. A mistura foi mudando de cor até atingir a coloração amarela. Esta coloração indica a redução da prata com formação de nanopartículas por este método. Após atingir esta coloração, foram adicionados a solução contendo as nanopartículas de prata, 100 ml do extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa* previamente produzido para a realização do processo de estabilização. A caracterização e avaliação da estabilidade das nanopartículas sintetizadas, foi realizada por espectroscopia no Ultravioleta Visível - UV-Vis. As leituras foram realizadas efetuando-se varredura na faixa de comprimento de onda de 300 a 700 nanômetros. Os resultados obtidos mostraram que as NPsAg desenvolvidas se mantiveram estáveis ao longo tempo. Conclui-se, portanto, que o extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa* se mostrou eficiente no processo de estabilização das nanopartículas sintetizadas e apresenta amplo potencial na obtenção de nanossistemas estáveis e eficientes.

**Palavras-chave:** nanomateriais; vegetais; síntese verde; metais nobres; nanotecnologia.



## STABILITY ANALYSIS OF SILVER NANOPARTICLES STABILIZED IN IPÊ-ROXO EXTRACT (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.)

### ABSTRACT

The chemical stability of metallic nanostructures is one of the main difficulties faced during their development and constitutes an obstacle to their application. Therefore, the objective of this work was to evaluate the stability of silver nanoparticles (NPsAg) stabilized in *Tabebuia impetiginosa* extract through green synthesis. For the synthesis of NPsAg, 500 ml of a silver nitrate solution was heated under magnetic stirring on a hot plate until it boiled. Once the boiling temperature was reached, 1 ml of sodium citrate solution was added to this solution. The mixture changed color until it reached a yellow color. This color indicates the reduction of silver with the formation of nanoparticles by this method. After achieving this color, 100 ml of the aqueous extract of *Tabebuia impetiginosa* leaves previously produced were added to the solution containing silver nanoparticles to carry out the stabilization process. The characterization and evaluation of the stability of the synthesized nanoparticles was carried out using Visible Ultraviolet - UV-Vis spectroscopy. The readings were carried out by scanning the wavelength range from 300 to 700 nanometers. The results obtained showed that the developed NPsAg remained stable over time. It is concluded, therefore, that the aqueous extract of *Tabebuia impetiginosa* leaves proved to be efficient in the process of stabilizing the synthesized nanoparticles and has broad potential in obtaining stable and efficient nanosystems.

**Keywords:** nanomaterials; vegetables; green synthesis; noble metals; nanotechnology.

**Instituição afiliada** – Graduado em Química Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão<sup>1</sup>, Profa. Dra. do Departamento de Química e Biologia da Universidade Estadual do Maranhão<sup>2</sup>, Mestre em Biodiversidade, Ambiente e Saúde pela Universidade Estadual do Maranhão<sup>3</sup>, Graduado em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Maranhão<sup>4</sup>, Graduando do Curso de Ciências Biológicas Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão<sup>5,8,9,10</sup>, Graduando do Curso de Medicina Bacharelado pela Universidade Estadual do Maranhão<sup>6,7</sup>

**Dados da publicação:** Artigo recebido em 05 de Março e publicado em 25 de Abril de 2024.

**DOI:** <https://doi.org/10.36557/2674-8169.2024v6n4p2335-2367>

**Autor correspondente:** Eduardo Feitosa da Conceição [eduardocxfc@gmail.com](mailto:eduardocxfc@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

A nanotecnologia compreende parte da ciência voltada ao desenvolvimento de pesquisa, tecnologia e materiais em escala nanométrica. Esta área, tem se mostrado de grande valia para a sociedade devido aos materiais com propriedades promissoras que têm desenvolvido como é o caso das nanopartículas de prata (NPsAg). As nanopartículas de prata são partículas em escala nanométrica que apresentam faixa de distribuição de tamanho no intervalo de 1-100 nanômetros. Estas nanoestruturas são uma das aplicações da nanotecnologia amplamente difundidas em vários setores da sociedade, a saber: setor alimentício, como agente antimicrobiótico em embalagens de alimentos, biotecnológico, utilizadas em análises biomédicas, fabricação de biossensores, diagnóstico clínico e administração de fármacos e, principalmente, setor médico, devido ao seu alto poder antimicrobiano, antifúngico e antiviral (Noah, 2019; Carbone *et al.*, 2016; Freire *et al.*, 2017; Banach, 2016; Callister Júnior, 2012; Busquets; Mbundi, 2017).

As NPsAg, estão entre os nanomateriais mais estudados devido as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Tais como atividade catalítica, propriedades ópticas, térmica, elétrica, magnética, antibacteriana, anticancerígena, dentre outras (Rafique *et al.*, 2020; Bayda *et al.*, 2020; Raota, 2019). Para além de suas propriedades, os inúmeros estudos envolvendo estas nanoestruturas devem-se também a sua fácil detecção e facilidade de síntese (Mathur *et al.*, 2018; Pathakoti *et al.*, 2017). De acordo com Ealias e Saravanakumar (2017), as nanopartículas de prata podem ser sintetizadas por vários métodos. Classificados em físicos, químicos e biológicos (Duran *et al.*, 2019).

Nos métodos químicos, a síntese envolve geralmente o uso de reagentes tóxicos nocivos aos seres vivos e ao meio ambiente (Almeida *et al.*, 2021; Bruniera *et al.*, 2020). Nos físicos, as partículas de prata são reduzidas a escala nanométrica por meio de processos como moagem, têmpera, decomposição térmica, fotolitografia, irradiação, difusão, entre outros. Sendo uma das rotas de síntese mais demorada, onerosa e também bastante perigosa. Nos biológicos ou também denominado de síntese verde, esta rota consiste na obtenção de nanopartículas a partir da utilização de entidades biológicas, como bactérias, fungos, leveduras, extratos vegetais, que atuam no processo de redução e estabilização destas estruturas (Islan *et al.*, 2021; Rani *et al.*, 2020; Duran *et al.*, 2019; Carvalho, 2013).



A síntese verde é um dos métodos de desenvolvimento de nanopartículas mais vantajoso que existe, uma vez que é ambientalmente correto, menos complexo, econômico, apresenta baixa taxa de toxicidade e taxa de síntese elevada. Nos últimos anos, têm crescido o número de pesquisas relacionadas à síntese verde de NPs metálicas utilizando extratos vegetais. Há muito se sabe que estas entidades biológicas apresentam capacidade para sintetizar e estabilizar nanopartículas. Tal capacidade provém de uma variedade de substâncias ativas presentes nas folhas das plantas, que são responsáveis pela redução e estabilidade química destas nanoestruturas em meio aquoso (Bavalesco *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2011; Noruzi, 2015; Rodrigues *et al.*, 2019; Shah *et al.*, 2015).

A estabilidade química de suspensões aquosas de nanopartículas de prata é uma das principais dificuldades enfrentadas no desenvolvimento de nanoestruturas metálicas e constitui um obstáculo para a sua aplicabilidade. Isto porque para serem eficientemente aplicáveis, os materiais nanoestruturados devem permanecer estáveis por longos períodos de tempo sem que haja perda de suas características físico-químicas e/ou modificações estruturais. Em função do tamanho, as nanopartículas de modo geral são termodinamicamente instáveis e, com isso, apresentam tendência natural de se agregar e crescer ao longo do tempo. Além disso, por serem quimicamente ativas, estas estruturas tendem a reagir rapidamente com substâncias presentes no meio, tendo suas propriedades facilmente alteradas (Melo Júnior *et al.*, 2012; Zang *et al.*, 2013).

Nesse cenário, no curso de preparação de NPsAg é geralmente feito o uso de substâncias estabilizadoras como forma de impedir que estes materiais se degradem ao longo do tempo ou mesmo durante a síntese. Tais substâncias podem ser tanto de origem sintética quanto espécies orgânicas, o que incluem os extratos vegetais. Neste estudo, foi utilizado como substância estabilizadora o extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa*, popularmente conhecida como ipê-roxo. A *Tabebuia impetiginosa* é uma espécie pertencente à família *Bignoniaceae* frequentemente utilizada na medicina popular devido a sua ação antibiótica (Brito *et al.*, 2021; Silva, 2021). Esta planta, que tem atraído interesse nos últimos anos devido principalmente a sua atividade antimicrobiana, apresenta uma série de substâncias ativas capazes de estabilizar nanopartículas (Figueiredo *et al.*, 2020).



**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA ESTABILIZADAS EM EXTRATO  
DE IPÊ-ROXO (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.)**  
Eduardo Feitosa da Conceição et al.

Os extratos vegetais têm grande destaque na produção de nanopartículas de prata e as nanoestruturas obtidas por meio do seu uso, inclusive, apresentam biocompatibilidade e potencial para aplicação em produtos biomédicos e uso farmacológico (Rai, 2013; Bruniera *et al.*, 2020). Desse modo, avaliar a estabilidade de nanoestruturas metálicas obtidas através da síntese verde é de extrema relevância, uma vez que pode potencializar sua aplicação na sociedade bem como contribuir para a construção do conhecimento científico a respeito da *Tabebuia impetiginosa*, para futuras aplicações desta espécie no campo medicinal, tendo em vista que esta planta já é muito utilizada na medicina popular para fins terapêuticos. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade de nanopartículas de prata estabilizadas em extrato de *Tabebuia impetiginosa* através da síntese verde.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Tipo de pesquisa e localização da área de estudo

O estudo trata-se de uma pesquisa experimental de natureza qualitativa e quantitativa que foi realizado no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) e Biotecnologia (LABIOTEC), ambos da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), campus Caxias. Localizada na Praça Duque de Caxias, s/n, Morro do Alecrim, sob as seguintes coordenadas geográficas 4°51'56.2"S 43°21'19.0"W. No período de setembro de 2023 a fevereiro de 2024.

### 2.2 Método de Síntese das nanopartículas de prata

As nanopartículas de prata foram sintetizadas com base na metodologia desenvolvida por Turkevich *et al.* (1951), criada originalmente para a formação de nanopartículas de ouro e adaptada por Lee e Meisel (1982) para síntese de NPsAg. Em que a formação destas nanoestruturas se dá pela redução química de um agente precursor de nitrato de prata por um agente redutor de citrato de sódio.

### 2.3 Preparo dos agentes precursor e redutor

Para o preparo do agente precursor de nitrato de prata, 0,17 g de nitrato de prata foram pesados e diluídos em 1L de água deionizada para a obtenção de uma solução em concentração de 1 mmol L<sup>-1</sup>. No que diz respeito ao preparo do agente redutor, 1g de citrato de sódio foi pesado e diluído em 100 ml de água deionizada para a obtenção de uma solução em concentração de 1% (m/v). As soluções obtidas foram identificadas, acondicionadas e armazenadas até o uso.

### 2.4 Síntese das nanopartículas de prata

500 ml da solução de nitrato de prata foi aquecida sob agitação magnética numa chapa aquecedora até entrar em ebulição. Neste momento, foi adicionado a esta solução 1 ml da solução de citrato de sódio. Posteriormente, a mistura foi mudando de cor até atingir a coloração amarela. Esta coloração indica a redução da prata com formação de nanopartículas por este método. Após atingir esta coloração, foi desligado o aquecimento da chapa aquecedora. No entanto, a solução foi mantida sob agitação magnética e resfriada à temperatura ambiente.



## 2.5 Coleta das folhas de *Tabebuia impetiginosa*

As folhas de *Tabebuia impetiginosa* foram obtidas em uma floricultura (4°52'34.1"S 43°20'44.4"W) localizada no município de Caxias, Maranhão, durante o mês de outubro. Após aquisição, estas folhas foram devidamente higienizadas, armazenadas e transferidas para o Laboratório de Biotecnologia (LABIOTEC), da Universidade Estadual do Maranhão, Campus Caxias, para a realização dos procedimentos experimentais (Figura 1).

**Figura 1.** Folhas de *Tabebuia impetiginosa* coletadas no município de Caxias, Maranhão.



Fonte: Autores, 2024

## 2.6 Preparo do extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa*

O extrato de *Tabebuia impetiginosa* foi preparado por decocção, a partir das folhas frescas. Para tanto, 4g destas folhas foram pesadas e lavadas com água deionizada para eliminar possíveis contaminantes. Em seguida, as folhas foram colocadas em um béquer de 400 ml e adicionados 400 ml de água deionizada. Posteriormente, a mistura foi aquecida a uma temperatura de 100°C em forno micro-ondas por 5 minutos. O extrato obtido foi filtrado, identificado e armazenado sob refrigeração em um frasco devidamente higienizado até o uso (Figura 2).

**Figura 2.** Preparo do extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa*.



Fonte: Autores, 2024.



## **2.7 Estabilização das NPsAg em extrato aquoso de *Tabebuia impetiginosa***

### **2.7.1 Procedimento experimental**

Imediatamente após a síntese, foram adicionados 100 ml do extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa* (Ipê-roxo), previamente produzido em 500 ml da solução contendo as nanopartículas de prata para a realização do processo de estabilização. Posteriormente, a solução foi estocada em um recipiente âmbar devidamente higienizado, onde foi identificada, coberta com papel alumínio para evitar o contato com a luz e armazenada sob refrigeração até o uso.

## **2.8 Análise da estabilidade das NPsAg estabilizadas em extrato *Tabebuia impetiginosa***

### **2.8.1 Espectroscopia no UV-Vis**

Para avaliar a estabilidade das nanopartículas desenvolvidas, foi realizado um estudo na qual foi analisado por espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis), o comportamento destas nanoestruturas com relação ao tempo de armazenamento (90 dias). A estabilidade foi monitorada em diferentes períodos (30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias de síntese). Além disso, foram observados também mudanças de coloração da solução, bem como a formação de precipitados no sistema ao longo do tempo.

## **2.9 Teste de estabilidade das NPsAg estabilizadas em extrato de *Tabebuia impetiginosa***

### **2.9.1 Solução cloreto de sódio a 1%**

Para o teste de estabilidade, foi preparada uma solução de cloreto de sódio a 1%. Para tanto, 1g desta substância foi pesada e diluída em 100 ml de água deionizada contidos em balão volumétrico de 100 ml.

## 2.9.2 Procedimento experimental

Dois béqueres de 500 ml foram devidamente higienizados e, em cada, adicionados 100 ml da solução coloidal de prata. Posteriormente, estes béqueres foram rotulados conforme letras A e B, sendo que no béquer A, a solução contida teve como finalidade servir de comparação das mudanças ocorridas no béquer B. Após estes procedimentos, a solução contida no béquer B foi colocada sob agitação magnética e adicionados cinco ml da solução de cloreto de sódio. Desse modo, foi possível testar a estabilidade das NPsAg sintetizadas por meio de possíveis mudanças de coloração da solução. Logo depois, esta solução foi submetida à análise de espectroscopia no UV-Vis e obtido o espectro de absorção (Melo Júnior *et al.*, 2012).

## 2.10 Caracterização das nanopartículas de prata

### 2.10.1 Espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-Vis)

Para confirmar a formação das NPsAg, estas foram caracterizadas por meio da técnica de espectroscopia eletrônica no Ultravioleta Visível. Para tanto, foi utilizado um espectrofotômetro de marca KAZUAKI, modelo IL-0082, de duplo feixe, do Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta ("LASAP"), da Universidade Estadual do Maranhão, campus Caxias. As leituras foram realizadas efetuando-se varredura na faixa de comprimento de onda de 300 a 700 nanômetros (nm), em cubetas de quartzos (caminho óptico 10 mm). Utilizando-se água destilada como branco.

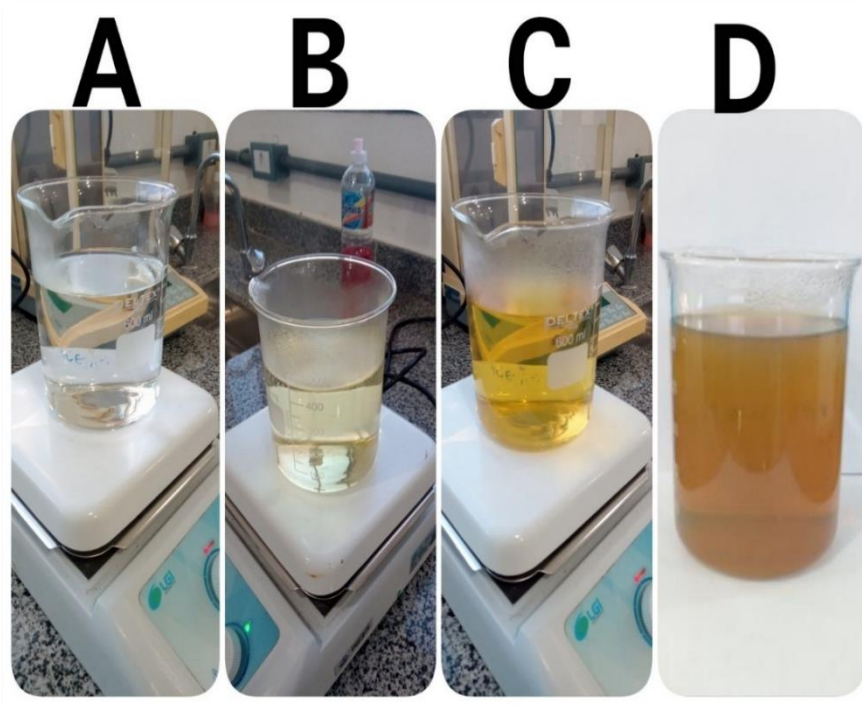
Na construção dos gráficos de absorção, foi utilizado o software OriginLab (version 6). A partir destes gráficos, puderam-se obter parâmetros importantes tais como o pico de absorção plasmônica de superfície (SPR), o valor máximo de absorção óptica e o comprimento de onda no máximo de absorção. Além disso, foi possível estimar, de forma teórica, o tamanho e forma das nanopartículas sintetizadas com base no máximo de absorção dos gráficos obtidos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Síntese e estabilização das nanopartículas de prata

A síntese das NPsAg aconteceu minutos depois da adição do agente redutor de citrato de sódio ao agente precursor de nitrato de prata, onde alguns minutos depois iniciou-se o processo redução química dos íons prata na mistura, resultando na formação dos primeiros átomos de prata em solução. Estes átomos de prata recém-reduzidos foram se agregando ao longo da reação, ocorrendo o desenvolvimento das primeiras nanopartículas de prata em suspensão. À medida que as NPs foram sendo sintetizadas, a coloração da solução foi passando progressivamente de incolor para amarelo pálido e, com o aumento do tempo reação sob aquecimento, para um amarelo mais intenso e, posteriormente, para uma coloração alaranjada, conforme visualizado na Figura 3 (Bonatto; Silva, 2014; Lopes, 2017; Moreira, 2018).

Figura 3. Síntese das nanopartículas de prata



Fonte: Autores, 2024.

De acordo com Dada *et al.* (2019) e Wang *et al.* (2018), essa mudança de coloração da solução é a primeira prova de formação das NPsAg e ocorre devido a um fenômeno denominado por Ressonância Plasmônica de Superfície (RPS). Tal fenômeno origina-se

do processo de interação da luz com o sistema nanoparticulado de prata, que resulta em uma oscilação coletiva dos elétrons da superfície das NPs formadas, fazendo com que a cor da solução seja progressivamente alterada ao longo da reação. O amarelo-pálido observado na Figura (3B), diz respeito às primeiras NPs formadas em suspensão e o aumento na intensidade desta cor (Figura 3C), estar relacionada com um aumento da concentração destas partículas no meio reacional (Jain; Mehata, 2017; Carson *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2018).

Essa coloração amarelada é característica de soluções de NPs<sub>Ag</sub> e indica redução dos íons prata na mistura para prata em escala nanométrica, podendo variar dependendo principalmente do tamanho das NPs sintetizadas. Além disso, mostra que nesta fase as nanoestruturas desenvolvidas são totalmente livres de agregação. Já a coloração alaranjada (Figura 3D), estar associada à presença de NPs maiores em solução, que podem ter se formado em virtude do tempo de reação sob aquecimento, já que foram lentamente resfriadas a temperatura ambiente. É provável, que durante este período, a temperatura do sistema tenha favorecido a agregação destas partículas (Lopes, 2017; Melo Júnior *et al.*, 2012).

A agregação das partículas trata-se de um processo em que estas se aglomeram formando estruturas em dimensões maiores. Este processo é descrito na literatura como um dos principais desafios enfrentados durante o desenvolvimento de NPs metálicas devido a elevada reatividade que apresentam, a qual propicia termodinamicamente a rápida interação destes nanomateriais para a formação de partículas maiores (Klabunde; Richards, 2009). Conforme Garcia (2011) e Hynning *et al.* (2001), o processo de agregação das NPs é resultado de uma combinação de forças atrativas de Van der Waals e movimentos Brownianos que se estabelecem no meio reacional tanto durante a fase de síntese quanto em momentos posteriores e estar intimamente ligado as condições de reação.

De acordo com Mulfinger *et al.* (2007), as condições de reação tais como tempo, quantidades relativas de reagentes, temperatura do sistema, dentre outras, devem ser rigorosamente controladas para a obtenção da prata coloidal amarela estável, caso contrário, podem influenciar nas características físico-químicas das nanopartículas desenvolvidas como, por exemplo, em seu tamanho. No entanto, têm estudos mostrando que além das condições de reação, a utilização do agente redutor parece também ter influência sobre a formação da nanopartícula. Ao que tudo indica, agentes redutores

mais fracos como o citrato de sódio, redutor utilizado neste estudo, propiciam a formação de partículas em diâmetros maiores quando comparado com agentes mais fortes (Turkevich *et al.*, 1951).

O aumento do tamanho das nanopartículas metálicas em solução pode ser constatado pela análise de coloração do meio reacional. No caso da prata, a agregação destas nanoestruturas faz com que a cor amarela característica do sistema passe para laranja, conforme visualizado na Figura (3D), em seguida, violáceo e, posteriormente, acinzentada, cor característica da prata em escala macroscópica. Diante disso, para evitar a agregação e, conseqüentemente, que prata retorne a escala macroscópica, é feito uso de substâncias estabilizadoras no curso de preparação das NPsAg (Onofre, 2014; Melo Júnior *et al.*, 2012; Mulfinger *et al.*, 2007).

Neste estudo, foi utilizado como substância estabilizadora o extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa* previamente produzido. As substâncias estabilizadoras têm como função impedir que os coloides de prata se aproximem uns dos outros em solução, evitando o início e posterior aglomeração destas estruturas. No caso dos extratos vegetais, esta função provém de uma variedade de componentes fitoquímicos presentes nas folhas das plantas, que se aderem ao redor das NPs previamente produzidas, evitando o seu crescimento (Sing *et al.*, 2018; Ebrahiminezhad *et al.*, 2017).

A utilização de extratos vegetais como agentes estabilizadores, compreende um dos métodos de desenvolvimento de nanopartículas denominado de síntese verde. Este método se baseia na obtenção de estruturas que não agrida ou agrida minimamente o meio ambiente por não fazer uso de produtos químicos com riscos potenciais tais como toxicidade, citotoxicidade e carcinogenicidade (Marcos *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2019; Biazar *et al.*, 2011).

As plantas estão entre as entidades biológicas mais utilizadas no desenvolvimento de NPs metálicas devido às diversas vantagens que apresentam. Dentre estas vantagens estar, por exemplo, a aquisição de estruturas com baixo potencial toxicológico, uma vez que elas, normalmente, não apresentam toxicidade. Além disso, a síntese em plantas tende a ser um método econômico, sustentável e as nanopartículas obtidas por meio de seu uso, inclusive, apresentam biocompatibilidade e potencial para aplicação em produtos biomédicos e uso farmacológico (Lhullier *et al.*, 2020; Castro *et al.*, 2011; Bruniera *et al.*, 2020; Rai, 2013).

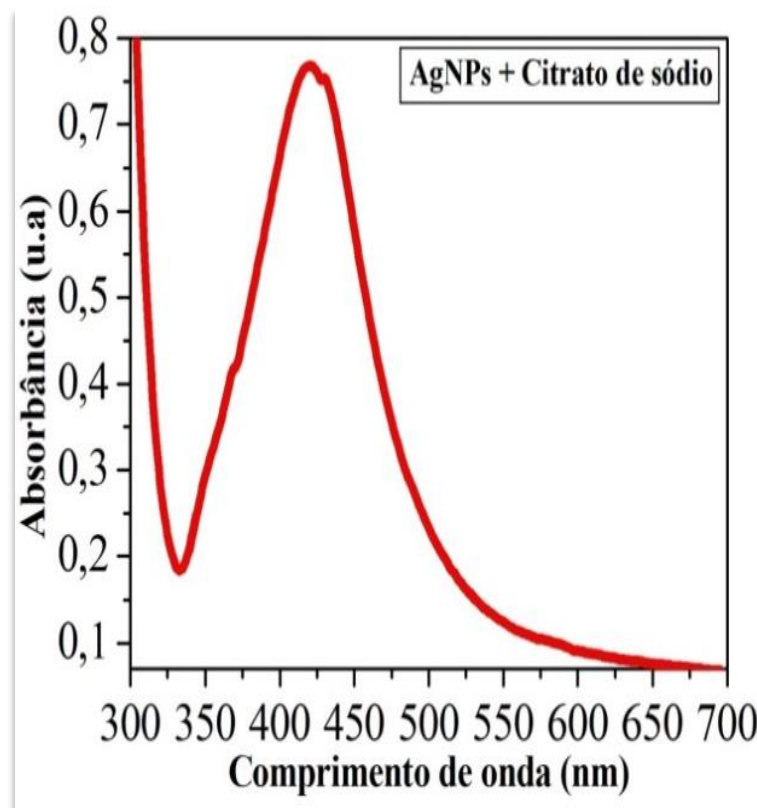
## 3.2 Caracterização das nanopartículas de prata

### 3.3 Espectroscopia no UV-Vis

As nanopartículas de prata desenvolvidas foram confirmadas por meio da técnica de espectroscopia eletrônica no Ultravioleta Visível (UV-Vis). Esta técnica é a mais empregada na identificação de NPs metálicas devido às características apresentadas por estas estruturas. Características como o tamanho e forma das nanopartículas fazem com que elas apresentem diferentes fenômenos de Ressonância Plasmônica de Superfície e, com isso, absorvam luz em diferentes comprimentos de onda (Lee *et al.*, 2015; Aldayel *et al.*, 2021).

Segundo Guzmán *et al.* (2008), espectros de absorção com máximo entre 380 e 450 nm caracterizam a formação de NPs<sub>Ag</sub> pelo método da espectroscopia no UV-Vis. Neste estudo, as nanopartículas de prata sintetizadas com citrato de sódio apresentaram espectro de absorção com comprimentos de onda entre 325 a 550 nm e máximo de absorção em torno de 425 nm, o que confirma a formação da prata em escala nanométrica (Jain; Mehata, 2017; Maghsoodloo *et al.*, 2020) (Figura 4).

**Figura 4.** Espectro de absorção das nanopartículas de prata sintetizadas.



Fonte: Autores, 2024.



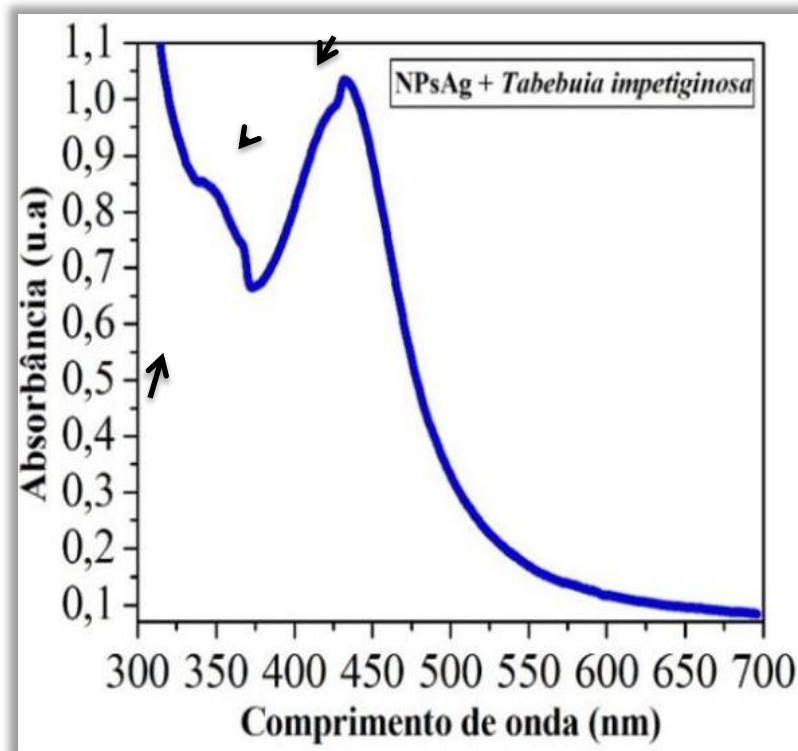
Conforme Garcia (2011), partículas de prata sintetizadas utilizando-se citrato de sódio como agente redutor, podem ser caracterizadas por UV-Vis com máximo ao redor de 420 nm. Resultados semelhantes foram encontrados por Viana *et al.* (2021) e Lemos *et al.* (2021), que mostram, respectivamente, espectros com máximo de 420 e 430 nm de nanopartículas sintetizadas com citrato de sódio e estabilizadas em extratos vegetais. Esta diferença nos espectros de absorção pode estar relacionada ao tamanho da nanopartícula formada em função da concentração agente redutor utilizado.

Lima *et al.* (2017), ao desenvolver nanopartículas sob diferentes concentrações de citrato de sódio, percebeu que as estruturas apresentaram máximos de absorção com diferentes comprimentos de onda, em virtude provavelmente do tamanho pelos quais foram sintetizadas, justificando o que afirma Kapoor (1998), que diz que absorção a longos comprimentos de onda reflete a formação de partículas em escalas maiores em solução. Outro trabalho com nanopartícula realizado por Silveira *et al.* (2021), envolvendo citrato como agente redutor, também constatou diferença nos máximos de absorção obtidos nas sínteses. Tal diferença, segundo estes autores, apontava a formação de NPs de variados tamanhos nas dispersões desenvolvidas.

De acordo com os dados presentes no trabalho de Mulfinger *et al.* (2007), que correlaciona o comprimento de onda observado no máximo, com o tamanho da partícula sintetizada, estima-se teoricamente que as nanoestruturas produzidas neste estudo apresentem tamanho variando de 35 a 50 nm e possivelmente formato esférico. Segundo Duran *et al.* (2019), estruturas nanométricas de prata com dimensões de até 100 nm apresentam preferencialmente morfologia esférica. Resultados semelhantes foram encontrados por Câmara *et al.* (2021), cuja nanopartículas sintetizadas com citrato e estabilizadas em extrato de *Struthanthus Flexicaulis*, apresentaram diâmetros variando entre 45 a 60 nm.

Com relação ao espectro das nanopartículas de prata estabilizadas no extrato de *Tabebuia impetiginosa* (Figura 5), este apresentou valores de comprimento entre 350 e 550 nm e máximo absorção entorno de 425 nm, semelhante ao espectro da Figura 4 embora com uma pequena diferença no valor da absorbância. Nota-se que no gráfico da Figura 4, o valor da absorbância, que se mantinha por volta de 0,8 u.a, aumentou para 1,0 u.a após a adição do extrato ( Figura 5).

**Figura 5.** Espectro de absorção das nanopartículas de prata estabilizadas no extrato de *Tabebuia impetiginosa*.



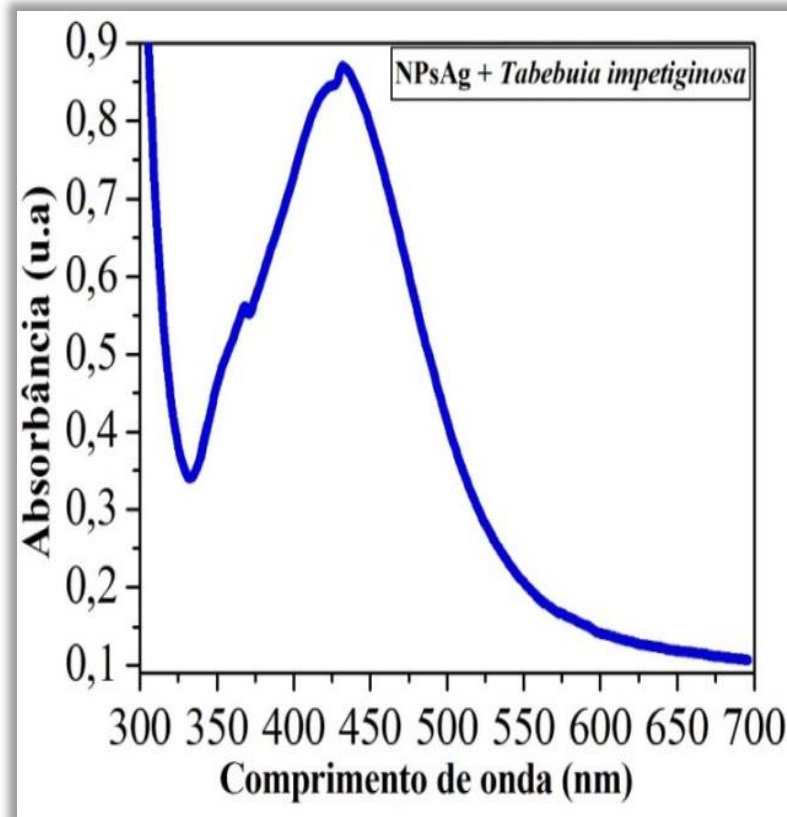
Fonte: Autores, 2024.

Este aumento no valor da absorbância mostra que a adição do extrato vegetal provavelmente tenha propiciado a formação de mais nanopartículas no meio reacional, levando-se em consideração que a absorbância é uma propriedade diretamente ligada a quantidade de partículas em solução e o fato das plantas também apresentarem atividade redutora. No entanto, como a reação de síntese só cessa após o consumo total do agente precursor, no caso o nitrato de prata, é possível, também, que mais partículas tenham sido desenvolvidas ao longo do tempo (Moreira, 2018; Rai, 2013).

Outro fato observado no espectro da Figura 5 são estas pequenas assimetrias indicadas pelas setas, que podem estar relacionadas à concentração do extrato vegetal. Ao que parece, concentrações elevadas do extrato pode prejudicar a leitura correta das nanopartículas por espectroscopia no UV-Vis. Como forma de solucionar tais assimetrias, a solução contendo as NPsAg foi diluída e submetida novamente a leitura no UV-Vis, onde se pôde obter um espectro um tanto mais simétrico (Figura 6).

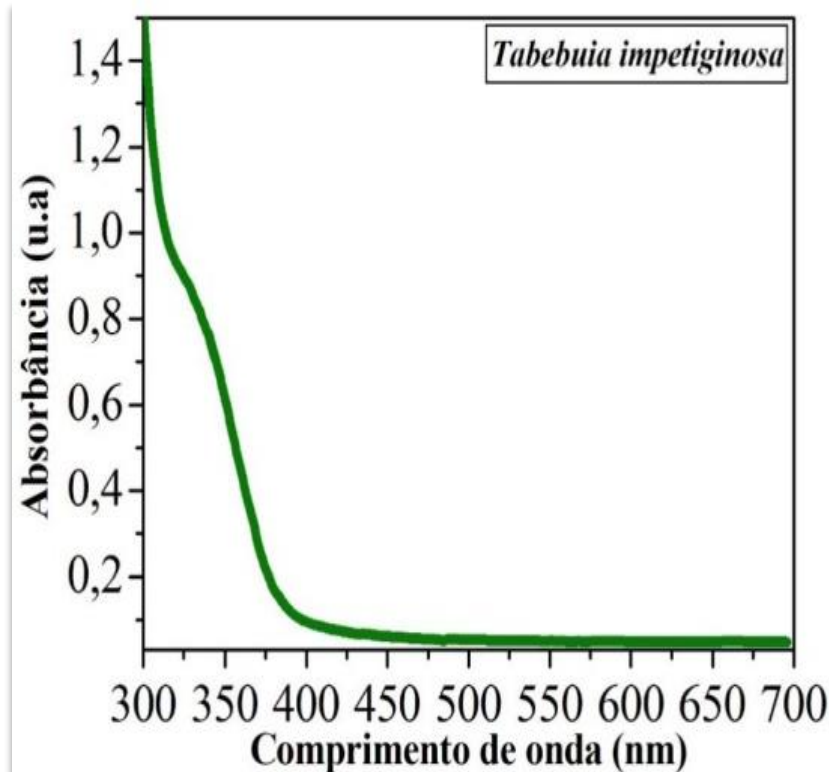
Quanto ao espectro referente ao extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa*, obteve-se comprimentos de onda de 300 a 400 nm e máximo de absorção em torno de 350 nm (Figura 7).

Figura 6. Espectro de absorção das NPsAg estabilizadas no extrato de *Tabebuia impetiginosa*



Fonte: Autores, 2024.

Figura 7. Espectro de absorção do extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa*



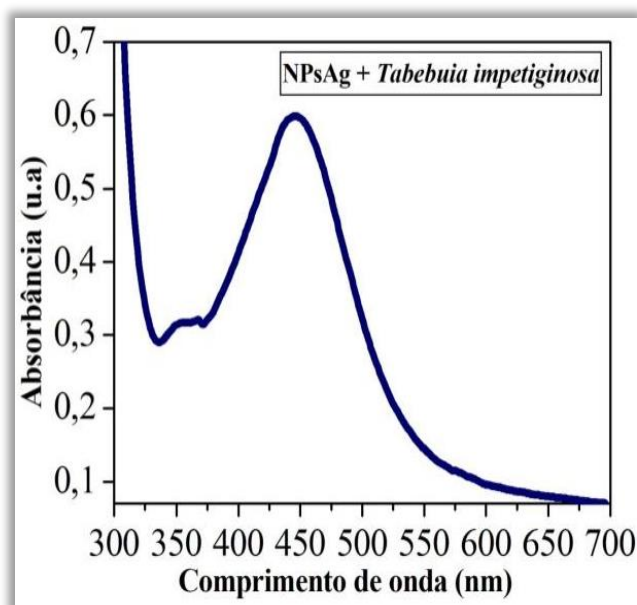
Fonte: Autores, 2024.

## 3.4 Análise da estabilidade das NPsAg estabilizadas em extrato *Tabebuia impetiginosa*

### 3.4.1 Espectroscopia no UV-Vis

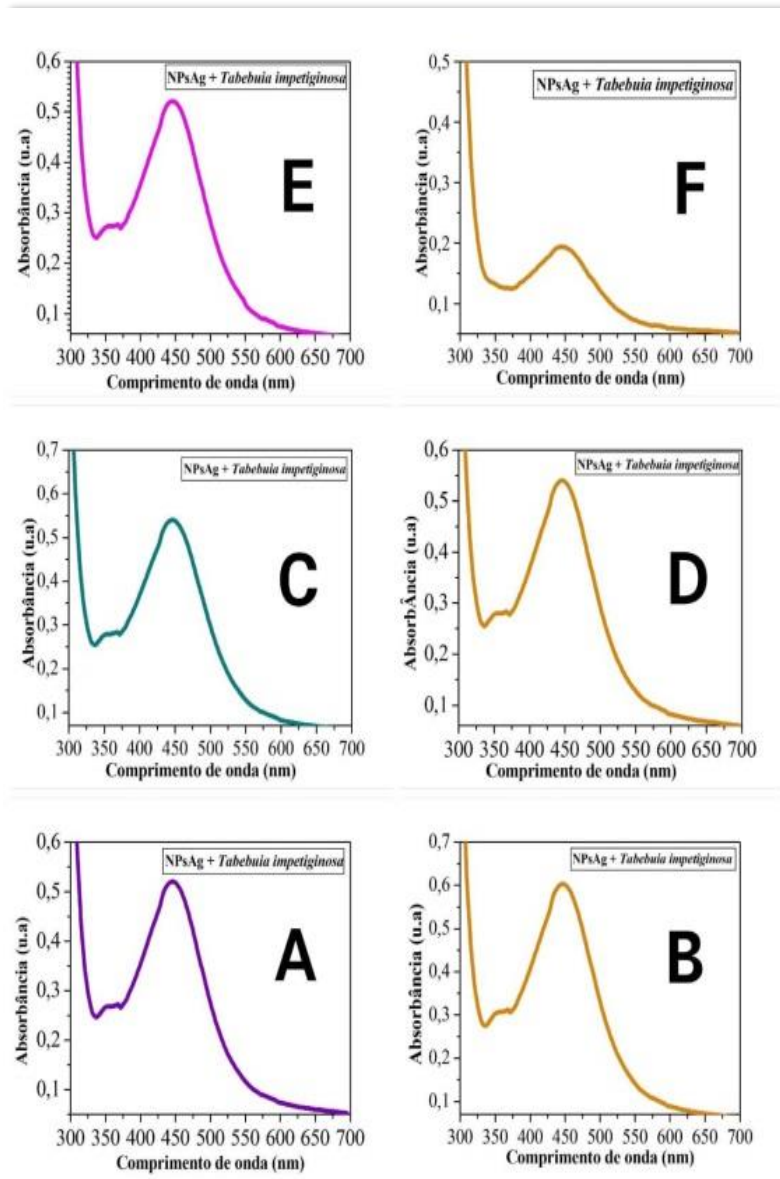
A análise por espectroscopia no UV-Vis mostrou que nos primeiros 30 dias de síntese as NPsAg desenvolvidas aumentaram de tamanho. Esta evidência pode ser justificada pelo deslocamento do máximo de absorção que saiu de 420 (Figura 4) para 450 nm (Figura 8), haja vista que mudanças ocorridas no máximo para maiores comprimentos de onda refletem a formação de partículas em escalas maiores em solução (Pissuwan *et al.*, 2010; Petryayeva; Krull, 2011). Este aumento pode ter ocorrido em função da baixa concentração de substâncias ativas presentes no extrato vegetal utilizado, que pode ter influenciado no processo de estabilização das nanopartículas sintetizadas (Hekmati *et al.*, 2020; Jain; Mehata, 2017). No entanto, é provável que o crescimento destas partículas tenha acontecido ainda nos primeiros momentos de realização do experimento, visto que nos estágios posteriores (40, 50, 60, 70, 80 e 90 dias de síntese) (Figura 9), não houve alteração do máximo, mantendo-se o mesmo, sempre próximo a 450 nm, o que mostra que a estabilização das nanopartículas não ocorre de forma imediata, e sim, aos poucos, e que o extrato de *Tabebuia impetiginosa* atuou como sendo um ótimo estabilizante, revestindo a superfície das nanopartículas.

**Figura 8.** Espectro de absorção das nanopartículas de prata estabilizadas após 30 dias de síntese.



Fonte: Autores, 2024.

**Figura 9.** Espectro de absorção das NPsAg estabilizadas em extrato de *Tabebuia impetiginosa* após 40 dias (A); 50 dias (B); 60 dias (C); 70 dias (D); 80 dias (E) e 90 dias síntese (F).



Fonte: Autores, 2024.

A avaliação da estabilidade das nanopartículas sintetizadas possibilitou também verificar que com o tempo a intensidade da banda de absorção tende a diminuir. Na Figura 9, é possível observar que o valor da absorbância, que nos primeiros meses mantinha-se por volta de 0,6 u. a, diminuiu após 90 dias síntese (Figura 9F). De acordo com Ferreira (2011), tal resultado pode ser explicado pela formação de agregados que se depositaram por gravidade nos meses seguintes, a qual pode ter contribuído para a diminuição das AgNPs em solução e, conseqüentemente, diminuição no valor da absorbância. Situação marcada provavelmente pela precipitação das NPs armazenadas por questões de cinética (Santos, 2013).

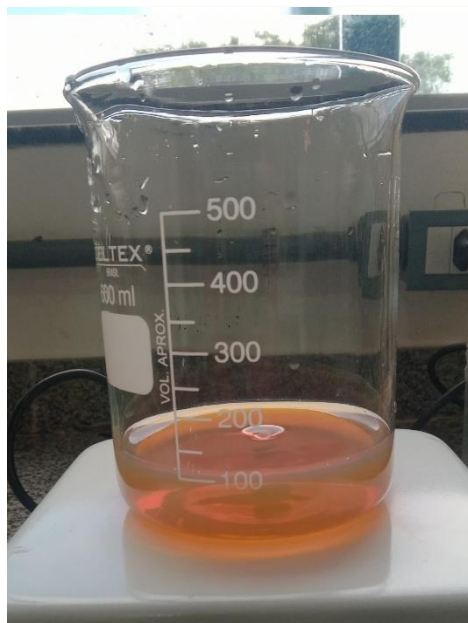
Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira (2011), que ao avaliar a estabilidade de nanopartículas de ouro constatou em cinco semanas após a síntese, diminuição da banda de absorção sem alteração significativa no valor do comprimento de onda. A estabilidade das nanoestruturas avaliadas neste estudo assemelha-se aos trabalhos realizados por Vasconcelos (2021) e Albernaz (2014), que obtiveram nanopartículas estáveis em um período de 60 e 120 dias síntese, respectivamente.

### 3.5 Teste de estabilidade das NPsAg estabilizadas em extrato de *Tabebuia impetiginosa*

#### 3.5.1 Solução cloreto de sódio a 1%

A adição da solução de cloreto de sódio a suspensão de nanopartículas de prata, não promoveu mudanças de coloração no meio reacional que indicasse agregação por parte destas nanoestruturas (Figura 10). No entanto, ao obter o espectro de absorção (Figura 11), foi verificado um leve deslocamento do máximo para esquerda além do alargamento da banda de *plasmon*. Estes resultados mostram que a adição do cloreto de sódio possivelmente tenha favorecido a agregação destas partículas, situação que pode ter ocorrido em consequência do aumento da força iônica causado pela presença dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na mistura (Melo Júnior *et al.*, 2012).

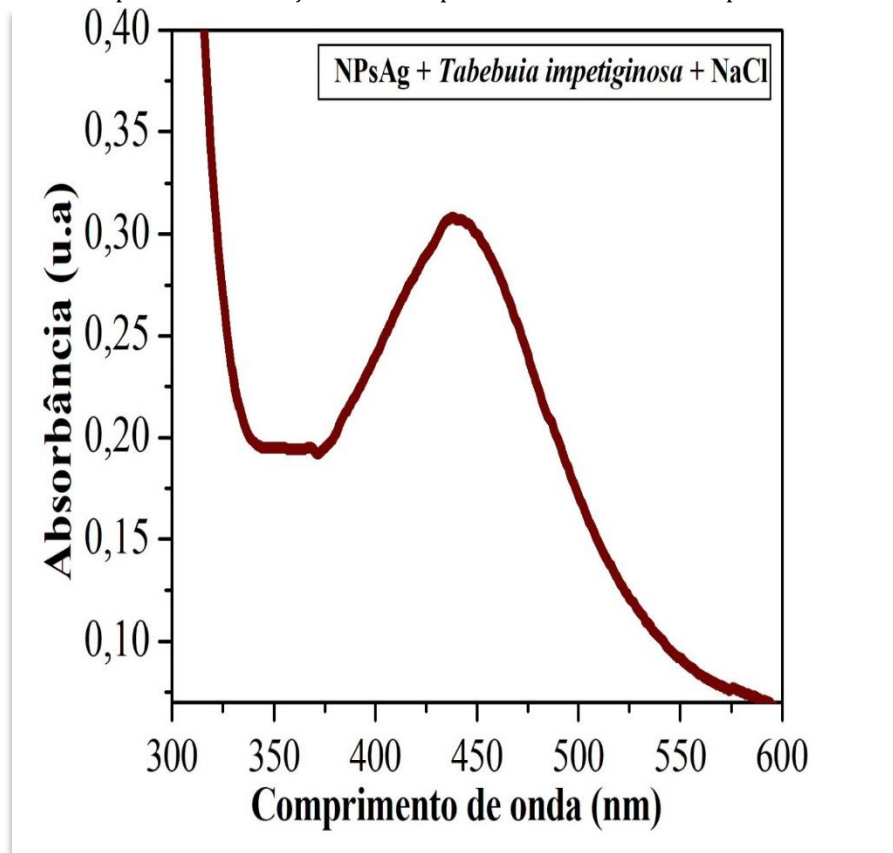
**Figura 10.** Coloração da solução de NPsAg estabilizadas após adição da solução de cloreto de sódio



Fonte: Autores, 2024.



Figura 11. Espectro de absorção das nanopartículas estabilizadas após do cloreto sódio



Fonte: Autores, 2024.

Resultados semelhantes foram encontrados por Melo Júnior *et al.* (2012), que ao testar a estabilidade de NPsAg por meio do cloreto de sódio, percebeu que esta substância favoreceu a agregação das partículas, formando estruturas em dimensões maiores. Conforme Carbó-Argibay *et al.* (2007), Pastoriza-Santos e Liz-Marzán (2009), a agregação das nanopartículas faz com que a banda de *plasmon* se torne mais larga e o máximo de absorção se desloque para maiores comprimentos de onda. No presente teste, é possível observar na Figura 10B, que a adição da solução de cloreto de sódio não promoveu mudanças significativas do máximo de absorção, indicando que somente algumas nanopartículas podem ter se agregado em solução, o que reforça ainda mais a ideia de que o extrato vegetal utilizado neste estudo foi eficiente no processo de estabilização das nanoestruturas sintetizadas.



## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As nanopartículas de prata desenvolvidas se mantiveram estáveis ao longo do tempo, o que mostra que o extrato aquoso das folhas de *Tabebuia impetiginosa* foi eficiente no processo de estabilização e apresenta amplo potencial na obtenção de nanosistemas estáveis e eficientes.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), pela concessão da Bolsa;  
Ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta – “LASAP” e Biotecnologia –  
“LABIOTEC”, ambos da Universidade Estadual do Maranhão, pelo suporte;

A minha orientadora Profa. Dra. Deuzuita dos Santos Freitas Viana;

Aos demais colaboradores deste trabalho.



## REFERÊNCIAS

AI, J.; BIAZAR, E.; JAFARPOUR, M.; MONTAZERI, M.; MAJDI, A.; AMINIFARD, S.; ZAFARI, M.; AKBARI, H.R.; RAD, H. G. Nanotoxicologia e segurança de nanopartículas em projetos biomédicos. **Int.J. nanomed.** [s. l.], nov 2011, 6, 1117-1127. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S16603>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2147/IJN.S16603>. Acesso em: 02 jan. 2024.

ALBERNAZ, V. L. **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.** 121 f. Dissertação (Mestrado em Nanociência e Nanobiotecnologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB\\_0e9f01b7a1aa46a544efcc623b05ddec](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_0e9f01b7a1aa46a544efcc623b05ddec). Acesso em: 16 jan. 2024.

ALDAYEL, F. M.; ALSOBEG, M. S.; KHALIFA, A. In vitro antibacterial activities of silver nanoparticles synthesised using the seed extracts of three varieties of *Phoenix dactylifera*. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.]. v. 82, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.242301>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/TzhtSKDQcXzKdCc9G97BcsN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 29 mai 2023.

ALMEIDA, A. F.; CORRÊA JUNIOR, A.; BENTES, J. L. S. Synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) by *Fusarium concolor* and inhibition of plant pathogens. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 47, p. 9-15, jan-mar 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/235097>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/6LPsBrNdNHRBNqYB6FWqLYR/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 fev. 2024.

BANACH, M.; PULIT-PROCIAK, J. Synthesis, characteristics, and biocidal activity of silver nanoparticles. In: Grumezescu, A. M (Ed.). **Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials.** William Andrew Publishing, v. 1, p. 367-399, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00353-7>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978032341533000012X>. Acesso em 20 fev. 2024.

BAVARESCO, J. B *et al.* Síntese verde de nanopartículas de prata a partir do extrato de folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*). **Scientia cum Industria**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 39-45, jun. 2020. Disponível em: <https://sou.uces.br/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/view/1331/396>. Acesso em: 02 fev. 2024.

BAYDA, S *et al.* The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine. **Molecules**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 112, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.3390/molecules25010112>. Acesso em: 17 fev. 2024.



BONATTO, C. C.; SILVA, L. P. Higher temperatures speed up the growth and control the size and optoelectrical properties of silver nanoparticles greenly synthesized by cashew nutshells. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 58, p. 46-54, julho. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/industrial-crops-and-products>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BRITO, M. C. A *et al.* Anti-inflammatory and cicatrizing properties of the *Tabebuia* genus: A review. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 9, p. 1-15, jul. 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18072/16107>. Acesso em 01 de mar. 2024.

BRUNIERA, J. F. B *et al.* Green synthesis, characterization and antimicrobial evaluation of silver nanoparticles for an intracanal dressing. **Brazilian Dental Journal**, [s. l.], v. 31, p. 485-492, set-out 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440202003897>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/jm73Yqd4kg6LkCf8qncTcZG/?lang=en&format=html>. Acesso em: 02 jan. 2024.

BUSQUETS, R (ed). **Nanotecnologias emergentes na ciência dos alimentos**. 1. ed. Elsevier, fev. 2017. ISSN: 9780323429801. Disponível em: <https://shop.elsevier.com/books/emerging-nanotechnologies-in-food-science/busquets/978-0-323-42980-1>. Acesso em: 12 mar 2024.

CALLISTER, W (Ed). **Ciência E Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed, Rio de Janeiro: Editora LTC, p. 589. 2012. Disponível em: <https://brogdomonzao.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/10/cic3aancia-e-engenharia-de-materiais-uma-introduc3a7c3a3o-william-d-callister-jr.pdf>. Acesso em; 15 fev. 2024.

CÂMARA, N. L. A. S.; VIANA, D. S. F.; VIANA, V. G. F.; Síntese e caracterização de nanopartículas de prata estabilizada em extrato de *Struthanthus Flexicaulis* Mart.(Erva-de-Passarinho). **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 14, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21983>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21983>. Acesso em: 03 jan. 2024.

CARBÓ-ARGIBAY, E *et al.* Chemical sharpening of gold nanorods: the rod-to-octahedron transition. **Angewandte Chemie International Edition**, [s. l.], v. 46, n. 47, p. 8983-8987, Nov 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.200703259>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/anie.200703259>. Acesso em: 19 jan. 2024.

CARBONE, M *et al.* Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. **Journal of King Saud University-Science** [s. l.], v. 28, n. 4, p. 273-279, out 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2016.05.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364716301070>. Acesso em: 05 abr. 2024.



CARSON, L. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles with antimicrobial properties using *Phyla dulcis* plant extract. **Foodborne Pathogens and Disease**, [s. l.], v. 17, n. 8, p. 504-511, agosto. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1089/fpd.2019.2714>. Disponível em: <https://home.liebertpub.com/publications/foodborne-pathogens-and-disease/108>. Acesso em: 22 nov. 2022.

CARVALHO, C. N. **Caracterização de Nanopartículas de Prata Coloidais Dispersas em Solos**. Orientadores: Sónia Morais Rodrigues, Eduarda Pereira. 2013. 56f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de Aveiro (Portugal), Aveiro, 2013. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/68f208a5ca83c7d5c680eb904a385573/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>. Acesso em 12 mar. 2024.

CASTRO, L.; BLAZQUEZ, M. L.; MUNOZ, J. A.; GONZÁLEZ, F.; GARCIA-BALBOA, C.; BALESTER, A. Biossíntese de nanofios de ouro utilizando polpa de beterraba. **Bioquímica de Processos**, [s. l.], v.46, p. 1076-1082, maio 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.01.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511311000316>. Acesso em 20 fev. 2024.

DADA, A. O *et al.* Silver nanoparticle synthesis by *Acalypha wilkesiana* extract: phytochemical screening, characterization, influence of operational parameters, and preliminary antibacterial testing. **Heliyon**, [s. l.], v. 5, n. 10, p. 2517, out 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02517>. Disponível em: <https://www.cell.com/heliyon/home>. Acesso em: 19 dez. 2022.

DURÁN, N *et al.* Nanotoxicology of silver nanoparticles: toxicity in animals and humans. **Química Nova**, [s. l.], v. 42, p. 206-213, dez 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170318>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QPWBmkm9whgD7c8jFYBscHJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2024.

EALIA, S. A. M.; SARAVANAKUMAR, M. P. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. **IOP conference series: materials science and engineering**. [s. l.], v. 263, n. 3, p. 1-15, 2017. DOI: [doi:10.1088/1757-899X/263/3/032019](https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019). Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/263/3/032019/pdf>. Acesso em 02 fev. 2024.

EBRAHIMINEZHAD, A *et al.* Green synthesis and characterization of zero-valent iron nanoparticles using stinging nettle (*Urtica dioica*) leaf extract. **Green Processing and Synthesis**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 469-475, jan 2017. DOI: <https://doi.org/10.1515/gps-2016-0133>. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/gps-2016-0133>. Acesso em 20 jan. 2023.



FERREIRA, V. C. T. **Polímeros Condutores e Monocamadas Auto-montadas na Concepção de Novas Arquiteturas contendo Nanopartículas Metálicas: Preparação, Caracterização e Desempenho para Electrocatalise e Biosensores.** Orientador: Luísa Maria Álvares Duarte de Almeida Abrantes, António Fernando Sousa da Silva. 2011. 190f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2011. Disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/4281/1/ulsd061177\\_td\\_Virginia\\_Ferreira.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/4281/1/ulsd061177_td_Virginia_Ferreira.pdf). Acesso em: 20 jan. 2024.

FIGUEREDO, F. G *et al.* *In silico* evaluation of the antibacterial and modulatory activity of lapachol and nor-lapachol derivatives. **Microbial pathogenesis**, [s. l.], v. 144, p. 1-7, mar 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104181>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104181>. Acesso em; 05 de abr. 2024.

FREIRE, P.L.L *et al.* AgNPs: the new allies against *S. mutans* biofilm-a pilot clinical trial and microbiological assay. **Brazilian Dental Journal** [s. l.], v. 28, p. 417-422, jul-ago 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600994>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bdj/a/I45dkrq67sdZJbb7cgKmfng/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 05 abr. 2024.

GARCIA, M. V. D. **Síntese, caracterização e estabilização de nanopartículas de prata para aplicações bactericidas em têxteis.** Orientador: Edison Bittencourt. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011. Disponível em: [file:///D:/Users/LAB/Downloads/Garcia\\_MarcusViniciusDias\\_M.pdf](file:///D:/Users/LAB/Downloads/Garcia_MarcusViniciusDias_M.pdf). Acesso em 28 fev 2023.

GUZMÁN, M. G.; DILLE, J.; GODET, S. Synthesis of silver nanoparticles by chemical reduction method and their antibacterial activity. **Int J Chem Biomol Eng**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 104-111, jan. 2009. DOI: 10.1016/j.nano.2011.05.007. Epub 2011 Jun 2. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21703988/>. Acesso em: 03 jan. 2024.

HEKMATI, M. *et al.* Green synthesis of silver nanoparticles using extracts of *Allium rotundum* l, *Falcaria vulgaris* Bernh, and *Ferulago angulate* Boiss, and their antimicrobial effects in vitro. **Gene Reports**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 562-589, jan 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100589>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/gene-reports>. Acesso em: 16 jan. 2024.

HYNING, V.; DIRK L.; KLEMPERER, W. G.; ZUKOSKI, C. F. Silver nanoparticle formation: predictions and verification of the aggregative growth model. **Langmuir**, [s. l.], v. 17, n. 11, p. 3128-3135, mai 2001. DOI: <https://doi.org/10.1021/la000856h>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1021/la000856h>. Acesso em: 03 jan. 2024.





ISLAM, A.; MANDAL, C.; HABIB, Ahsan. Antibacterial potential of synthesized silver nanoparticles from leaf extract of *Moringa oleifera*. **Journal of Advanced Biotechnology and Experimental Therapeutics**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 67-73, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5455/jabet.2021.d108>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Chanchal-Mandal/publication/346542948\\_Antibacterial\\_potential\\_of\\_synthesized\\_silver\\_nanoparticles\\_from\\_leaf\\_extract\\_of\\_Moringa\\_oleifera/links/5fc68d0045851568d1320fed/Antibacterial-potential-of-synthesized-silver-nanoparticles-from-leaf-extract-of-Moringa-oleifera.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chanchal-Mandal/publication/346542948_Antibacterial_potential_of_synthesized_silver_nanoparticles_from_leaf_extract_of_Moringa_oleifera/links/5fc68d0045851568d1320fed/Antibacterial-potential-of-synthesized-silver-nanoparticles-from-leaf-extract-of-Moringa-oleifera.pdf). Acesso em 17 fev. 2024.

JAIN, S.; MEHATA, M. S. Medicinal plant leaf extract and pure flavonoid mediated green synthesis of silver nanoparticles and their enhanced antibacterial property. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1-13, nov 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15724-8>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-15724-8#citeas>. Acesso em: 29 dez. 2022.

KAPOOR, S. Preparation, characterization, and surface modification of silver particles. **Langmuir**, [s. l.], v. 14, p. 1021-1025, out 1998. DOI: <https://doi.org/10.1021/la9705827>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/journal/langd5>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KLABUNDE, K. J.; RICHARDS, R. M. (eds.). **Nanoscale materials in chemistry**. 2 ed. Nova York: John Wiley & Sons, 2009, p. 1-287. Disponível em: <https://www.wiley.com/engb/Nanoscale+Materials+in+Chemistry,+2nd+Edition-p-9780470222706>. Acesso em: 11 abr. 2023.

LEE C. F.; YOU P. Y.; LIN Y. C.; HSU T. L.; CHENG P. Y.; WU Y. X *et al.* Exploring the stability of gold nanoparticles by experimenting with adsorption interactions of nanomaterials in an undergraduate lab. **Journal of Chemical Education**, v. 92(6), p. 1066-1070, fev 2015. <http://dx.doi.org/10.1021/ed500819z>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1021/ed500819z>. Acesso em: 03 jan. 2024.

LEE, P. C.; MEISEL, DJTJOPC. Adsorption and surface-enhanced Raman of dyes on silver and gold sols. **The Journal of Physical Chemistry**, [s. l.], v. 86, n. 17, p. 3391-3395, ago. 1982. DOI: <https://doi.org/10.1021/j100214a025>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/j100214a025>. Acesso em: 21 de fev 2024.

LEMOS, T. A. B *et al.* Preparação, caracterização e aplicação antimicrobiana de nanopartículas de prata estabilizadas em extrato de girassol (*Helianthus Annus*). **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15533>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15533/14108>. Acesso em: 03 jan. 2024.

LHULLIER, C. *et al.* Atividades biológicas de extratos de invertebrados marinhos da costa nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 80, p. 393-404, abr-jun 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.213678>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/jR5vCK5XBbGXww8pysqL5TN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 03 jan. 2024.



LOPES, J. R. **Síntese de nanopartículas de prata (NPsAg) em soluções aquosas de fibroína de seda e gelatina.** Orientador: Marcos Akira d'Ávila. 2017. 107f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: [file:///D:/Users/LAB/Downloads/Lopes\\_JosiasRogerio\\_M.pdf](file:///D:/Users/LAB/Downloads/Lopes_JosiasRogerio_M.pdf). Acesso em: 20 jun. 2023.

LIMA, G. M., CASTILHO, M. L., RANIERO, L. Influência da concentração de citrato de sódio na formação de nanopartículas de prata. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XXI, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓSGRADUAÇÃO, XVII, e ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, VII., 2017, Paraíba. **Anais [...]**. Paraíba: Universidade do vale da Paraíba – UNIVAP, 2017. P. 1-5. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/0910\\_0557\\_01.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/0910_0557_01.pdf). Acesso em: 17 mai 2023.

MAGHSOODLOO, S. *et al.* Green synthesis of multifunctional silver nanoparticles using quercetin and their therapeutic potential. **Nanomedicine Research Journal**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 171- 181, mai 2020. DOI: <https://doi.org/10.22034/nmrj.2020.02.008>. Disponível em: [https://www.nanomedicine-rj.com/issue\\_6265\\_6481.html](https://www.nanomedicine-rj.com/issue_6265_6481.html). Acesso em: 19 jan 2023.

MARCO, B. A *et al.* Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. **Saudi pharmaceutical journal**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 1-8, jan 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>. Acesso em: 03 jan. 2024.

MATHUR, P *et al.* Pharmaceutical aspects of silver nanoparticles. **Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology** [s. l.], v. 46, n. 1, p. 115-126, dez 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1414825>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/21691401.2017.1414825?needAccess=true>. Acesso em: 05 de abr. 2024.

MELO JÚNIOR. M. A.; SANTOS, L.S.S.; GONÇALVES, M. C.; NOGUEIRA, A. F. Preparação de nanopartículas de prata e ouro: um método simples para a introdução da nanociência em laboratório de ensino. **Química Nova**, Campinas – SP, v.35, n.9, p. 1872-1878, jul 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000900030>. Disponível em: <https://quimicanova.s bq.org.br/>. Acesso em: 08 jun 2023.

MULFINGER, L *et al.* Synthesis and study of silver nanoparticles. **Journal of chemical education** [s. l.], v. 84, n. 2, p. 322, fev 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed084p322>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed084p322>. Acesso em: 29 fev. 2024.

MOREIRA, K.R.A. **Síntese de nanopartículas de ouro em solução aquosa, transferência para outros solventes orgânicos e avaliação de sua estabilidade em diferentes meios orgânicos.** Orientador: Carlos Pérez Bergmann. 2018. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/182291>. Acesso em: 03 jan. 2024.



NOAH, N. Green synthesis: Characterization and application of silver and gold nanoparticles. In: SHUKLA, A. K.; IRAVANI, S (Eds.). **Green synthesis, characterization and applications of nanoparticles**. Elsevier, 2019. p. 111-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02526-0>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780081025796/green-synthesis-characterization-and-applications-of-nanoparticles#book-description>. Acesso em: 18 fev. 2024.

NORUZI, M. Biosynthesis of gold nanoparticles using plant extracts. **Bioprocess and biosystems engineering**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 1-14, ago. 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00449-014-1251-0>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ONOFRE, N. A. **Desenvolvimento e caracterização de filmes poliméricos a partir de ágar, agarose e kefirana com incorporação de nanopartículas de prata**. Orientador: Ricardo Yara. 2014. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2014. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPE\\_4452889dcd5633b20e9efd2499bed8c9](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPE_4452889dcd5633b20e9efd2499bed8c9). Acesso em: 03 jan. 2024.

PASTORIZA-SANTOS, I.; LIZ-MARZÁN, L. M. N. N-dimethylformamide as a reaction medium for metal nanoparticle synthesis. **Advanced Functional Materials**, [s. l.], v. 19, n. 5, p. 679-688, fev 2009. DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.200801566>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adfm.200801566>. Acesso em: 19 jan. 2024.

PATHAKOTI, K.; MANUBOLU, M.; HWANG, H. M. Nanoestruturas: usos atuais e aplicações futuras na ciência de alimentos. **Jornal de Análise de Alimentos e Medicamentos** [s. l.], v. 25, n. 2, p. 245-253, abr. 2017. DOI: [doi:10.1016/j.jfda.2017.02.004](https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.02.004). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1021949817300583>. Acesso em: 15 fev. 2024.

PETRYAYEVA, E.; KRULL, U. J. Localized surface plasmon resonance: Nanostructures, bioassays and biosensing-A review. **Analytica Chimica Acta**, [s. l.], v. 706, n. 1, p. 8-24, nov 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.08.020>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003267011011196>. Acesso em: 16 jan. 2024.

PISSUWAN, D *et al.* Nanopartículas de ouro funcionalizadas para controle de bactérias patogênicas. **Tendências em biotecnologia**, [s. l.], v. 28, n. 4, pág. 207-213, jan 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.12.004>. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799\(09\)00236-4](https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799(09)00236-4). Acesso em: 16 jan. 2024.



RAFIQUE, M *et al.* History and fundamentals of nanoscience and nanotechnology. In: Tahir, M. B.; RAFIQUE, M. S (Eds.). **Nanotechnology and photocatalysis for environmental applications**. Elsevier, p. 1-25. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2019-0-00295-6>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821192-2.00001-2>. Acesso em 14 mar. 2024.

RAI, M. Nanobiotecnologia verde: biossínteses de nanopartículas metálicas e suas aplicações como nanoantimicrobianos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 65, n. 3, p. 44-48, jul 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252013000300014>. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252013000300014&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252013000300014&script=sci_arttext&tlng=es). Acesso em: 02 jan. 2024.

RANI, P *et al.* Highly stable AgNPs prepared via a novel green approach for catalytic and photocatalytic removal of biological and non-biological pollutants. **Environment International**, [s. l.], v. 143, p. 1-13, out. 2020. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105924>. Acesso em: 15 fev. 2024.

RAOTA, C. S. **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**. Orientador: Marcelo Giovanela. 2018. 109f. Dissertação (PósGraduação em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias de Sul, Caxias do Sul, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/4396/Dissertacao%20Camila%20Suliani%20Raota.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 fev. 2024.

RODRIGUES, J. F. B *et al.* Aplicação de método estatístico no estudo da influência do peróxido de hidrogênio e do borohidreto de sódio na síntese de nanopartículas de prata. **Matéria**, Rio Janeiro, v. 24, n. 3, p. 1-9, jan 2019. DOI: DOI:10.1590/s1517-707620190003.0708. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/index>. Acesso em: 17 abr. 2022.

SANTOS, N. T. **Nanopartículas de ouro como sistema de liberação de droga associada a berberina: síntese e caracterização**. Orientador: Araken dos Santos Werneck Rodrigues. 2013. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13865/1/2013\\_NaiaraTeodosiodosSantos.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/13865/1/2013_NaiaraTeodosiodosSantos.pdf). Acesso em: 13 jan. 2024.

SHAH, M *et al.* Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities. **Materials**, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 7278-7308, out. 2015. DOI: [doi:10.3390/ma8115377](https://doi.org/10.3390/ma8115377). Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.3390/ma8115377>. Acesso em: 15 mar. 2024.



SILVA, Z. D. S *et al.* **Estudo de espectroscopia na região do infravermelho do lapachol da  $\beta$ -lapachona e do Hidroxi-Hidrolapachol.** Orientador: Miquéias Gomes Ferreira. 2021. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Urutaí, Goiania, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1919/1/TCC\\_Ziom%20Drak%20S\\_Silva.pdf](https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1919/1/TCC_Ziom%20Drak%20S_Silva.pdf). Acesso em: 26 fev. 2024.

SILVEIRA, R *et al.* Nanopartículas de prata: síntese, atividade antibacteriana e comparativo com um desinfetante comum. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, [s. l.], v. 19, p. 1-5, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20222638>. Disponível em: <https://www.tecnologiammm.com.br/article/10.4322/2176-1523.20222638/pdf/tmm-19-e2638.pdf>. Acesso em: 25 abr 2023.

SINGH, D. K. *et al.* Mycosynthesis of bactericidal silver and polymorphic gold nanoparticles: physicochemical variation effects and mechanism. **Nanomedicine**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 191-207, dez 2018. DOI: <https://doi.org/10.2217/nnm-2017-0235>. Disponível em: <https://www.futuremedicine.com/journal/nnm>. Acesso em 28 mai 2023.

SOLOMON, S. D.; BAHADORY, M.; JEYARAJASINGAM, A.V.; RUTKOWSKY, S.A.; BORITZ, C. Synthesis and study of silver nanoparticles. **Journal of Chemical Education**, [s. l.], v. 84, p. 322-325. Fev 2007. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed084p322>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1021/ed084p322>. Acesso em: 02 jan. 2024.

TURKEVICH, J.; STEVENSON, P. C.; HILLIER, J. A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold.. Inglaterra: **Faraday Discussions London**, [s. l.], v. 11, p.55, mai. 1951. DOI: <https://doi.org/10.1039/DF9511100055>. Disponível em: <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1039/DF9511100055>. Acesso em 22 abr 2023.

VASCONCELOS, I. M. **Obtenção de nanopartículas de prata utilizando açúcar mascavo: um estudo da influência das condições de síntese.** Orientador: Flávio André Pavan. 2021. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021. Disponível em: [https://repositorio.unipampa.edu.br/bitstream/rii/5755/1/TCC\\_Ilomara\\_Vasconcelos\\_2021.pdf](https://repositorio.unipampa.edu.br/bitstream/rii/5755/1/TCC_Ilomara_Vasconcelos_2021.pdf). Acesso em: 29 maio 2023.

VIANA, A. V *et al.* Síntese verde e caracterização de nanopartículas de prata em curcumina e extrato de cajueiro (*Anacardium occidentale*). **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 6, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15512>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15512>. Acesso em: 03 jan. 2024.

WANG, M. *et al.* Probing bianisotropic biomolecules via a surface plasmon resonance sensor. **Optics express**, [s. l.], v. 26, n. 22, p. 28277-28287, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.26.028277>. Disponível em: <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-26-22-28277>. Acesso em 02 jun 2023.



ZHANG, J *et al.* Pb (II) removal of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ SiO<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub> core-shell nanomaterials prepared via a controllable sol-gel process. **Chemical Engineering Journal**, [s. l.], v. 215, p. 461-471, jan. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894712014957>. Acesso em: 20 mar. 2024.