

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LETICIA CREMONESI GANACIN**

**APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA OBTIDAS POR SÍNTESE  
VERDE EM FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE MANDIOCA**

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

**LETICIA CREMONESI GANACIN**

**APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA OBTIDAS POR SÍNTESE  
VERDE EM FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE MANDIOCA**

**Application of silver nanoparticles obtained by green synthesis in  
biodegradable films of cassava starch**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dra. Mirela Vanin dos Santos Lima.

**CAMPO MOURÃO**

**2023**



Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LETICIA CREMONESI GANACIN**

**APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA OBTIDAS POR SÍNTESE  
VERDE EM FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE MANDIOCA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30/novembro/2023

---

Mirela Vanin dos Santos Lima  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Roberta de Souza Leone  
Doutorado em Engenharia de Alimentos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Augusto Tanamati  
Doutorado em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO**

**2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, por me guiar e me sustentar perante os desafios, especialmente nesse último ano.

Aos meus pais Marta e Rivaldo por todo amor, educação e confiança em mim depositada. Sem o apoio de vocês eu não chegaria até aqui.

Aos meus irmãos Maiara, Fernando e Larissa pelo amor incondicional, conselhos, companheirismo e principalmente pelas infinitas horas de FaceTime.

Aos meus amigos de Campo Mourão, que foram minha família durante esses anos longe de casa. Compartilhamos angústias, risos, surtos, choros e muitos momentos felizes. As melhores memórias dessa fase são com vocês, obrigada por tudo.

A minha orientadora, professora Mirela Vanin dos Santos Lima, por todo conhecimento compartilhado e pela paciência nessa reta final. Sem seu direcionamento nada disso seria possível.

A todos os professores que fizeram parte da minha trajetória acadêmica. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial na minha formação profissional e como pessoa.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse realizar esse sonho.

A todos vocês, minha eterna gratidão.

“Se eu vi mais longe, foi por estar  
sobre ombros de gigantes.”

(NEWTON, 1676)

## RESUMO

Materiais nanoestruturados tem emergido nos últimos anos devido sua ampla aplicabilidade. Entre eles, destacam-se as nanopartículas de prata (AgNPs) por sua notável atividade antimicrobiana, boa condutividade elétrica e térmica e alto efeito catalítico. Simultaneamente, vários estudos investigaram inovações em embalagens, utilizando matrizes biodegradáveis, sendo o amido identificado como um polímero altamente promissor para este fim. Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo produzir filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo nanopartículas de prata obtidas por síntese verde empregando extrato aquoso de dente-de-leão como agente redutor e por fim avaliar as características físico-mecânicas e o potencial antimicrobiano do material obtido. As AgNPs foram obtidas utilizando solução aquosa contendo 7,5% (v/v) do extrato vegetal, com adição de agente capeante (citrato de sódio) com e sem ajuste de pH, então solução de nitrato de prata (0,02 mmol) foi gotejada na solução do extrato. As suspensões contendo as AgNPs foram caracterizadas por UV-visível podendo-se observar picos de absorvância entre 433-436 nm, indicando assim a formação das AgNPs. Os filmes de amido de mandioca foram produzidos pela técnica *casting* contendo 70% em massa de amido, 30% em massa de plastificante e a suspensão de AgNPs. Os filmes obtidos foram caracterizados quanto a espessura, gramatura, solubilidade, umidade, permeabilidade, teste de tração e atividade antimicrobiana. A técnica *casting* para obtenção dos filmes de amido contendo AgNPs se mostrou apropriada. Após análise dos resultados, verificou-se que as AgNPs reduziram a solubilidade dos filmes, conferindo-lhes maior resistência à água; porém os resultados de permeabilidade indicaram que a incorporação de nanopartículas não interferiu na estrutura da rede dos filmes. Quanto as propriedades mecânicas, os filmes contendo AgNPs mostraram-se mais flexíveis e menos resistentes quando comparados aos filmes sem as AgNPs, podendo-se sugerir que as AgNPs funcionaram como plastificante no material. Com relação às aplicações microbiológicas, os filmes contendo AgNPs demonstraram atividade antimicrobiana eficaz. Assim, pode-se concluir que a incorporação de AgNPs em filmes de amido impacta de forma positiva nas propriedades antimicrobianas, bem como, influencia as características físicas e mecânicas dos filmes.

Palavras-chave: nanopartículas de prata; síntese verde; filmes biodegradáveis; atividade antimicrobiana.

## ABSTRACT

Nanostructured materials have emerged in recent years due to their wide applicability. Among them, silver nanoparticles (AgNPs) stand out due to their remarkable antimicrobial activity, good electrical and thermal conductivity, and high catalytic effect. Simultaneously, several studies have explored innovations in packaging, using biodegradable matrices, with starch identified as a highly promising polymer for this purpose. In this context, the present study aimed to produce biodegradable films of cassava starch containing silver nanoparticles obtained through green synthesis using dandelion aqueous extract as a reducing agent and, finally, to evaluate the physical-mechanical characteristics and antimicrobial potential of the obtained material. The AgNPs were obtained using an aqueous solution containing 7.5% (v/v) of plant extract, with the addition of a capping agent (sodium citrate) with and without pH adjustment. Then, a silver nitrate solution (0.02 mmol) was dripped into the extract solution. The suspensions containing AgNPs were characterized by UV-visible spectroscopy, showing absorbance peaks between 433-436 nm, indicating the formation of AgNPs. Cassava starch films were produced by the casting technique containing 70% by mass of starch, 30% by mass of plasticizer, and the AgNPs suspension. The obtained films were characterized for thickness, grammage, solubility, moisture content, permeability, tensile testing, and antimicrobial activity. The casting technique for obtaining starch films containing AgNPs proved to be suitable. After analyzing the results, it was found that AgNPs reduced the solubility of the films, giving them greater water resistance. However, permeability results indicated that the incorporation of nanoparticles did not interfere with the film network structure. Regarding mechanical properties, films containing AgNPs were more flexible and less resistant compared to films without AgNPs, suggesting that AgNPs acted as a plasticizer in the material. Concerning microbiological applications, films containing AgNPs demonstrated effective antimicrobial activity. Thus, it can be concluded that the incorporation of AgNPs in starch films positively impacts antimicrobial properties and influences the physical and mechanical characteristics of the films.

Keywords: silver nanoparticles; green synthesis; biodegradable films; antimicrobial activity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática de formação de nanoestruturas através dos processos <i>bottom-up</i> e <i>top-down</i> . .....	16
Figura 2 – Mecanismo de crescimento de nanopartículas de prata por síntese verde utilizando extrato de planta. ....	19
Figura 3 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).....	20
Figura 4 – Elaboração de filmes de amido contendo AgNPs. ....	24
Figura 5 – Análise de umidade dos filmes contendo AgNPs. ....	26
Figura 6 – (A) Células contendo cloreto de cálcio anidro e seladas com recortes dos filmes em dessecador; (B) pesagem das células.....	26
Figura 7 – Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração. ....	27
Figura 8 – Capacidade antimicrobiana.....	29
Figura 9 – Soluções contendo AgNPs.....	31
Figura 10 – Espectros UV-vis das amostras de AgNPs sintetizadas.....	32
Figura 11 – Filmes de amido com e sem AgNPs. ....	33
Figura 12 – Resultado do teste de disco-difusão de Kirby- Bauer – (A) <i>Staphylococcus aureus</i> ; (B) <i>Bacillus cereus</i> ; (C) <i>Escherichia coli</i> ; (D) <i>Salmonella</i> . ....	38



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Soluções para obter nanopartículas de prata. ....	23
Tabela 2 – Resultados das análises de espessura e gramatura dos filmes obtidos. ....	34
Tabela 3 – Resultados das análises de solubilidade, umidade e permeabilidade ao vapor d'água (WPV) para os filmes obtidos. ....	35
Tabela 4 – Módulo de Young, resistência à tração e alongamento na ruptura dos filmes.....	36
Tabela 5 – Medida dos diâmetros dos halos de inibição formados no teste de disco-difusão.....	38

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Resultados das análises de DLS e UV- Visível. ....</b>	<b>33</b>
--	-----------

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AgNPs	Nanopartículas de prata
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
BHI	<i>Brain Heart Infusion</i>
<i>Bottom up</i>	De baixo para cima
CF	Cefoxitina
CL	Cloranfenicol
DLS	<i>Dynamic Light Scattering</i> (Espalhamento Dinâmico de Luz)
E	Alongamento na ruptura
$F_{\text{máx}}$	Força máxima na ruptura
FT-AgNPs	Nanopartículas de prata quelatadas com fisetina
$L_0$	Comprimento inicial do corpo de prova
LAMAP	Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa da UTFPR - Apucarana
MHB	Caldo <i>Müller-Hinton</i>
MY	Módulo de Young
PVICT	Programa Voluntariado em Iniciação Científica e Tecnológica
RT	Resistência máxima de tração
SERS	Espalhamento Raman aprimorado pela superfície
SU	Sulfazotrim
<i>Top down</i>	De cima para baixo
UR	Umidade relativa
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV-vis	UV-Visível
WPV	Permeabilidade ao vapor d'água
$\Delta L$	Variação no comprimento do corpo de prova

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Nanopartículas metálicas</b> .....	<b>16</b>
3.1.1	Nanopartículas de prata .....	17
<b>3.2</b>	<b>Síntese verde</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Dente de leão</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4</b>	<b>Amido</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5</b>	<b>Filmes de amido</b> .....	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2</b>	<b>Obtenção do extrato aquoso de dente-de-leão</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Obtenção das nanopartículas de prata (AgNPs)</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Caracterização das nanopartículas de prata por UV-vis</b> .....	<b>23</b>
<b>4.5</b>	<b>Elaboração dos filmes</b> .....	<b>23</b>
<b>4.6</b>	<b>Caracterização dos filmes de amido</b> .....	<b>24</b>
4.6.1	Espessura .....	24
4.6.2	Gramatura .....	24
4.6.3	Solubilidade .....	25
4.6.4	Umidade .....	25
4.6.5	Permeabilidade.....	26
4.6.6	Tração .....	27
<b>4.7</b>	<b>Potencial antimicrobiano dos filmes</b> .....	<b>28</b>
<b>4.8</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização das nanopartículas de prata por UV-vis</b> .....	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Caracterização dos filmes de amido</b> .....	<b>33</b>
5.2.1	Gramatura e espessura.....	33
5.2.2	Umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor d'água .....	34
5.2.3	Tração .....	36
5.2.4	Atividade antimicrobiana pelo método disco-difusão.....	37

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por produtos alimentícios com menores quantidades de aditivos químicos tem aumentado nos últimos anos, este fato impulsionou pesquisas que objetivam desenvolver novas tecnologias no setor de alimentos para fornecer produtos mais próximos ao natural, mantendo as propriedades, qualidade e segurança. Uma tendência atual do mercado como meio alternativo para prolongar a vida de prateleira dos alimentos é a elaboração de embalagens que interagem diretamente com o produto ou com o espaço livre entre eles, denominadas embalagens ativas (Braga; Silva, 2017).

A prata metálica é o agente antimicrobiano com maior potencial para aplicações em filmes ativos (Braga; Silva, 2017). Com o crescente desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia, os nanomateriais tornaram-se produtos de interesse para a indústria pois apresentam propriedades físicas, químicas e biológicas únicas quando comparadas ao metal em escala macroscópica. Da mesma forma, as nanopartículas de prata (AgNPs) chamaram a atenção devido ao seu potencial antimicrobiano juntamente com a elevada área de superfície específica, o alto efeito catalítico e a boa condutividade (Antunes *et al.*, 2013).

A metodologia usualmente empregada na síntese de nanopartículas é a síntese química, por ser um método rápido e apresentar uniformidade na formação das nanopartículas. No entanto, envolve a utilização de solventes tóxicos e danosos ao meio ambiente e ao ser humano. Assim, a síntese verde apresenta-se como uma alternativa sustentável aos métodos físicos e químicos convencionais, por utilizar exclusivamente extratos vegetais na redução de íons metálicos. O uso de materiais vegetais para a síntese de nanopartículas é mais vantajoso pois é uma metodologia limpa, não tóxica, ecologicamente correta e não requer processos elaborados (Islam *et al.*, 2019).

A formação das nanopartículas de prata (AgNPs) por síntese verde é realizada por meio das moléculas do extrato vegetal, as quais reduzem o íon ( $\text{Ag}^+$ ) para íon ( $\text{Ag}^0$ ). Dentre esses agentes redutores, destacam-se: compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas, proteínas, aminoácidos, ácidos e enzimas. O extrato pode ser proveniente de cascas, sementes, folhas, flores e raízes. No entanto, as características do produto formado se alteram dependendo da parte da planta que foi empregada (Albernaz, 2014).

A planta *Taraxacum officinale*, popularmente conhecida como dente-de-leão possui potencial para ser empregada como agente redutor dos íons prata na síntese verde de nanopartículas de prata. Este vegetal apresenta em sua composição diversas substâncias e princípios ativos de grande importância para formação das AgNPs, tais como: ferro, cobre, potássio, vitaminas B1, D, A e C, ácido cafeico, tirosina, taninos, carotenoides, fitosterol,  $\beta$ -amirina, flavonoides, ácido cítrico e aminoácidos (Ribeiro; Albiero; Milaneze-Gutierrez, 2004).

Os plásticos poliméricos derivados de recursos renováveis estão se tornando uma tendência no campo dos materiais poliméricos modernos. Uma alternativa ao plástico a base de petróleo é o plástico biodegradável, produzido a partir de compostos naturais e que podem ser decompostos naturalmente pela atividade microbiana. O amido é um dos biopolímeros mais estudados para compor materiais biodegradáveis devido à sua disponibilidade abundante, baixo custo e boa biodegradabilidade (Ayyubi; Purbasari; Kusmiyati, 2022).

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo sintetizar nanopartículas de prata obtidas por síntese verde empregando extrato aquoso de dente-de-leão (*Taraxacum officinale*) como agente redutor, então aplicar as AgNPs obtidas em filmes biodegradáveis de amido de mandioca e por fim avaliar as características físico-mecânicas e o potencial antimicrobiano do material obtido.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar as características físico-mecânicas e o potencial antimicrobiano de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo nanopartículas de prata.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obter nanopartículas de prata (AgNPs) por síntese verde empregando extrato aquoso de dente-de-leão como agente redutor;
- Caracterizar as AgNPs por espectroscopia de UV-vis;
- Preparar filmes de amido incorporados com nanopartículas de prata;
- Caracterizar os filmes obtidos quanto a espessura, gramatura, solubilidade, umidade, permeabilidade e ensaio de tração;
- Avaliar o potencial antimicrobiano dos filmes.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

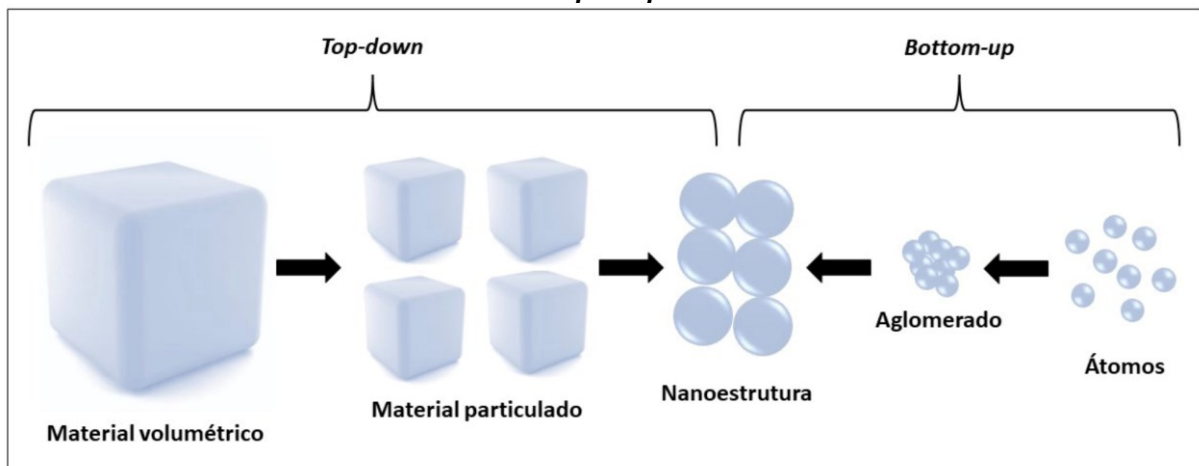
#### 3.1 Nanopartículas metálicas

A nanotecnologia é um campo importante da pesquisa moderna que trata da síntese, estratégia e manipulação da estrutura de partículas que variam de 1 a 100 nanômetros, resultando em mudanças significativas nas propriedades químicas, físicas e óptica do material (Ahmed *et al.*, 2016). Desde o desenvolvimento dos nanomateriais, as nanopartículas metálicas têm sido utilizadas em uma ampla gama de aplicações nas áreas da medicina, biotecnologia, farmacologia, eletrônica, engenharia, energias renováveis e também na remediação ambiental (Akter *et al.*, 2018).

Diferentes métodos físicos, químicos e biológicos podem ser empregados para a preparação de nanopartículas metálicas, a seleção varia de acordo com o objetivo da síntese. Os métodos são categorizados em dois tipos principais: *bottom up* ("de baixo para cima"), onde nanopartículas se formam a partir da união de átomos, moléculas ou pequenas partículas e *top down* ("de cima para baixo"), onde o material volumétrico é usado como material de partida e o tamanho das partículas é reduzido a nanopartículas por diferentes processos (Jamkhande *et al.*, 2019).

A Figura 1 representa esquematicamente os dois tipos de processo de formação de nanoestruturas, *top-down* e *bottom-up*.

Figura 1 – Representação esquemática de formação de nanoestruturas através dos processos *bottom-up* e *top-down*.



Fonte: Sanfelice, Pavinatto, Corrêa (2022, p. 32)

Métodos de abordagem *bottom-up* garante um maior controle do tamanho dos nanomateriais sintetizados, assim como a obtenção de nanoestruturas homogêneas com perfis cristalográficos perfeitos (Jamkhande *et al.*, 2019).

### 3.1.1 Nanopartículas de prata

As propriedades das nanopartículas de prata (AgNPs), como o aprimoramento do espalhamento Raman pela superfície (SERS), alta condutividade elétrica e térmica, além de diversas bioatividades, têm posicionado essas nanopartículas metálicas como um dos nanomateriais mais promissores nos últimos anos. Essas bioatividades abrangem efeitos antifúngicos, antioxidantes, antimicrobianos e anti-inflamatórios. Entre essas, a atividade antimicrobiana das AgNPs ganha destaque, oferecendo uma solução para o desafio das bactérias resistentes aos antibióticos (Das *et al.*, 2019).

A capacidade antimicrobiana da prata metálica é reconhecida há muitos anos. Na antiguidade, era empregada para tratar queimaduras e combater doenças bacterianas. No entanto, seu uso diminuiu após a descoberta da penicilina. À medida que cepas bacterianas resistentes a antibióticos emergiram, o interesse pela prata como base para desenvolver novos agentes antimicrobianos ressurgiu (Rai; Yadav; Gade, 2009).

A prata em nanoescala desempenha uma atividade antimicrobiana mais elevada quando comparada com sua versão macroscópica, isso se dá devido à sua ampla área superficial que permite um contato mais eficaz com as bactérias. Propriedades das AgNPs como tamanho, forma e morfologia desempenham um papel crucial na inativação ou morte de bactérias, e estas estão intrinsecamente relacionadas aos seus métodos de síntese (Akter *et al.*, 2018; Deshmukh *et al.*, 2019).

A metodologia mais utilizada para a síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) é a redução química por agentes redutores orgânicos e inorgânicos, alcançando uma solução coloidal estável em água ou solventes orgânicos. Esses agentes redutores reduzem os íons  $\text{Ag}^+$  e levam à formação de prata metálica  $\text{Ag}^0$ , que é seguida de aglomeração que quando em solução aquosa levam à formação de partículas metálicas de prata coloidal. Quando as partículas coloidais são significativamente menores que o comprimento da onda da luz visível, as soluções exibem uma coloração amarela, caracterizadas por uma banda de absorção intensa

na faixa de 380-400 nanômetros, e as menos intensas com comprimento de onda maior no espectro de absorção (Sharma; Yngard; Lin, 2009).

### 3.2 Síntese verde

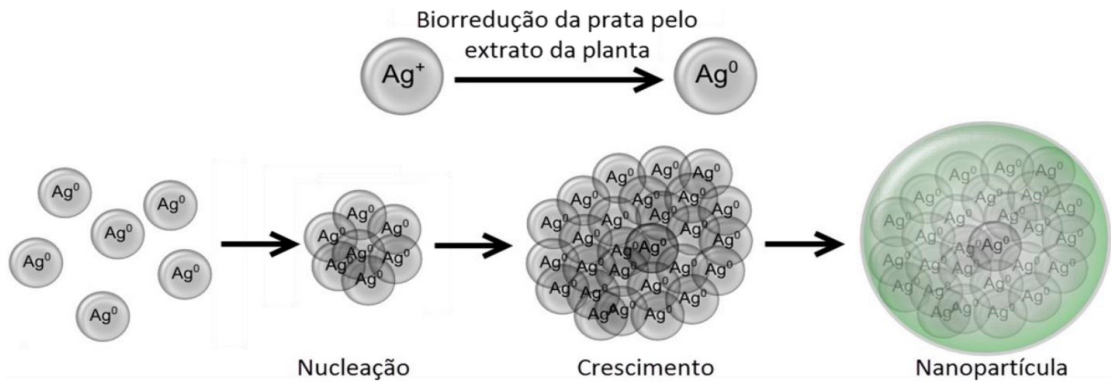
A síntese verde em comparação aos métodos químicos e físicos para obtenção das AgNPs apresenta vantagens significativas: é ambientalmente amigável, economicamente viável e pode ser facilmente ampliado para produzir nanopartículas em quantidades consideráveis. Além disso, não requer o uso de alta temperatura e pressão, uso de produtos químicos nocivos ou consumo energético elevado (Ahmed *et al.*, 2016).

A literatura tem documentado inúmeros estudos que exploram a síntese biológica de nanopartículas de prata (AgNPs) utilizando microorganismos, como bactérias, fungos e plantas. O uso de extratos vegetais para esse fim é potencialmente vantajoso em relação à rota microbiana, compreendendo um processo mais simples e de uso facilitado, além de ser econômico e demandar um tempo de reação mais curto (Ahmed *et al.*, 2016; Rao; Paria, 2013).

Os extratos vegetais envolvem fitoquímicos (terpenóides, flavonoides, compostos fenólicos e outros) que atuam como redutores na presença de sal metálico e alguns também podem atuar como agentes estabilizantes, recobrando a superfície das partículas limitando o seu crescimento e evitando que se agreguem (Albernaz, 2014).

A partir da Figura 2, podemos observar o mecanismo de crescimento de nanopartículas de prata por meio de síntese verde utilizando extrato vegetal. Inicialmente, o extrato age reduzindo os íons metálicos, formando átomos neutros. Estes se agregam para formar um núcleo estável, processo conhecido como nucleação. Posteriormente, ocorre o crescimento das nanopartículas, no qual mais átomos se agregam e formam partículas maiores. Por fim, a estabilização das nanopartículas é alcançada através do esgotamento dos íons metálicos na solução ou pelo recobrimento das partículas por compostos presentes no extrato, impedindo assim a aglomeração (Albernaz, 2014).

**Figura 2 – Mecanismo de crescimento de nanopartículas de prata por síntese verde utilizando extrato de planta.**



Fonte: Albernaz (2014, p. 24)

### 3.3 Dente de leão

*Taraxacum officinale*, também conhecido como dente-de-leão, é uma planta herbácea perene da família Asteraceae, reconhecida por suas propriedades medicinais. Esta planta apresenta uma diversidade de compostos polifenólicos, tais como flavonoides (crisoeriol, luteolina, quercetina e seus glicosídeos) e ácidos fenólicos (ácido caféico, ácido caftárico, clorogênico, cumárico). O dente-de-leão é tradicionalmente utilizado como erva medicinal não tóxica devido às suas propriedades anti-inflamatórias, coleréticas e diuréticas. Encontra-se comumente em gramados residenciais e áreas de lazer, ao longo de estradas e margens de corpos d'água em várias regiões do mundo (Rasheed *et al.*, 2019).

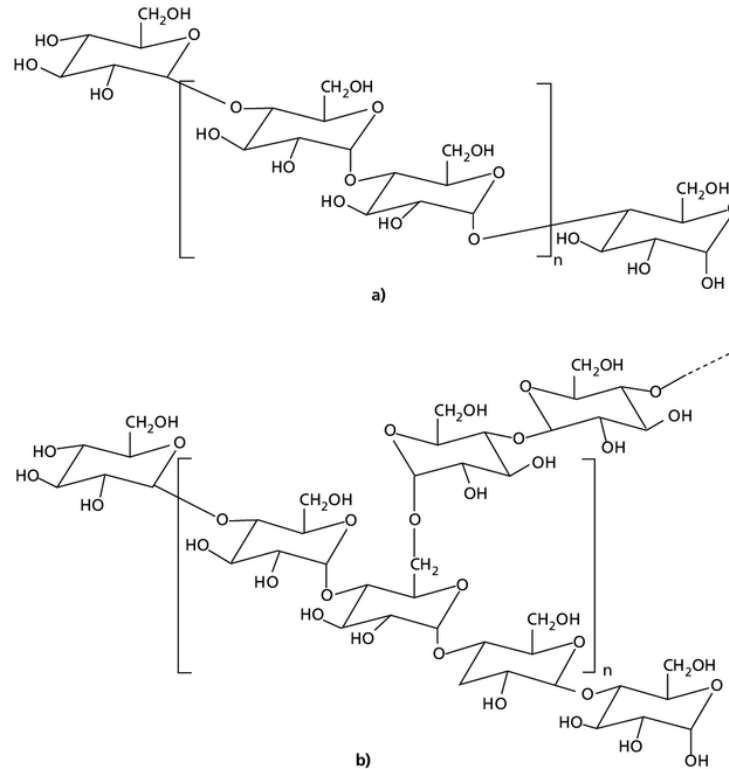
### 3.4 Amido

O amido apresenta em sua estrutura elementos de carbono, hidrogênio e oxigênio. As proporções em que esses elementos aparecem variam de acordo com a fonte botânica, as variedades de uma mesma espécie e, até mesmo, o grau de maturação da planta. Destaca-se como a reserva energética primária dos vegetais, sendo o carboidrato mais abundante encontrado nas plantas. Além disso, representa a principal fonte de carboidratos na dieta dos animais e constitui uma parte significativa dos carboidratos digestíveis na alimentação humana (Gomes, 2022; Denardin; Silva, 2009).

O amido é composto principalmente por cadeias de moléculas de glicose, chamadas amilopectina e amilose (Figura 3). A amilose basicamente é uma molécula linear com algumas ramificações, enquanto a amilopectina é altamente ramificada. A predominância de amilose nos amidos resulta em filmes mais fortes. Por outro lado, a

estrutura ramificada da amilopectina tende a produzir filmes com diferentes propriedades mecânicas, como uma redução na resistência à tração (Alves *et al.*, 2007).

**Figura 3 – Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).**



**Fonte: Araújo (2014, p. 16)**

Armazenado nas plantas na forma de grânulos, o amido pode ser classificado como simples, onde cada plastídeo contém um único grânulo como em trigo, milho, cevada, centeio e sorgo ou como compostos, quando múltiplos grânulos estão presentes dentro de cada amiloplasto, como em arroz e aveia. Os grânulos de amido têm baixa solubilidade em água fria, mesmo em concentrações acima de 35%. No entanto, ao aquecer uma suspensão de 5% a 80°C, observa-se uma dispersão de alta viscosidade, conhecida como goma (Gomes, 2022; Denardin; Silva, 2009).

Quando um grânulo de amido passa pelo processo de gelatinização, ocorre a quebra das estruturas cristalinas do grânulo. Este grânulo absorve água, incha irreversivelmente e expande o seu tamanho. Durante e após a gelatinização, a amilose contida nos grânulos é liberada, formando um gel contínuo ao seu redor, resultando em um aumento na viscosidade. Após o processo de gelatinização, quando a temperatura é reduzida à ambiente, ocorre um rearranjo molecular com base em 16

ligações de hidrogênio, o que favorece a recristalização, conhecida como retrogradação. Na fase de retrogradação, as moléculas de água que antes estavam ligadas às cadeias de amilose são liberadas, fenômeno denominado sinérese (Araújo, 2014).

### 3.5 Filmes de amido

O mercado global de materiais biodegradáveis vem se desenvolvendo em grandes proporções. No contexto de uma economia sustentável, o setor enfrenta o desafio de desenvolver produtos que possam substituir os polímeros derivados do petróleo, mantendo propriedades mecânicas, ópticas, térmicas e de barreira comparáveis aos plásticos convencionais, ao mesmo tempo em que são biodegradáveis e provenientes de fontes renováveis (Sueiro *et al.*, 2016).

Diversos estudos exploraram novas embalagens com matrizes biodegradáveis, e o amido se destaca como um polímero altamente promissor para uso nesses materiais. Apresenta vantagens notáveis como disponibilidade, baixo custo, comportamento termoplástico e capacidade de biodegradação. No entanto, os filmes de amido tendem a apresentar baixa resistência mecânica e alta hidrofiliabilidade. Com intuito de superar as limitações dos materiais à base de amido são empregados alguns aditivos, como plastificantes (Dantas *et al.*, 2015; Teixeira *et al.*, 2013).

Os plastificantes reduzem as ligações de hidrogênio entre as cadeias de amido, aumentando a mobilidade molecular e, conseqüentemente, a hidrofiliabilidade e a flexibilidade dos filmes plastificados. Geralmente, os plastificantes mais eficazes possuem estruturas semelhantes aos polímeros que estão sendo plastificados. Para os filmes a base de amido, os plastificantes comumente empregados são os poliois, como glicerol e sorbitol. Eles evitam a quebra do filme durante o manuseio e armazenamento, no entanto, afetam a permeabilidade ao vapor de água (Mali *et al.*, 2005).

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Materiais**

O dente-de-leão seco (folha, caule e flores) e o amido de mandioca foram adquiridos no comércio de Campo Mourão – PR. Para o preparo do extrato e dos filmes foi utilizado água tipo 1. Citrato de sódio e nitrato de prata (100%) (Plant-Lab) foram utilizados na obtenção das nanopartículas de prata. Nos filmes, utilizou-se o glicerol como plastificante. Na análise do potencial antimicrobiano dos filmes foram utilizados os meios de culturas MHB (Caldo Müller-Hinton) e BHI (*Brain Heart Infusion*), e os antibióticos Cefoxitina, Sulfazotrim e Cloranfenico. As bactérias patogênicas *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella sp.* (ATCC 700623) e *Bacillus cereus* (ATCC 14579), foram retiradas do acervo da UTFPR – Campo Mourão.

### **4.2 Obtenção do extrato aquoso de dente-de-leão**

O extrato aquoso foi preparado de acordo com a metodologia de Filip *et al.* (2000), com modificações. Em um béquer, foram adicionados 20 g do vegetal e 200 mL de água tipo 1. Em seguida, a mistura foi aquecida até a temperatura de ebulição e então o sistema foi mantido a uma temperatura controlada de 80 °C por 15 minutos. Após esse período, o extrato foi filtrado a vácuo e avolumado em um balão volumétrico de 200 mL com água tipo 1.

### **4.3 Obtenção das nanopartículas de prata (AgNPs)**

Foram selecionadas as 4 melhores amostras do Trabalho de Pesquisa de Iniciação Científica (PVICT 2017/2018) desenvolvido pela aluna Liandra Gracher Teixeira do curso Engenharia de Alimentos da UTFPR – Campo Mourão, conforme apresentado na Tabela 1. Para determinar as melhores formulações, foi considerado o tamanho das partículas, a sua estabilidade em solução e o diâmetro dos halos de inibição dos microrganismos estudados.

**Tabela 1 – Soluções para obter nanopartículas de prata.**

Código	Extrato [%]	pH	Nitrato de Prata 0,02 mmol.L <sup>-1</sup> (mL)	Citrato de Sódio % (v/v)
CS	7,5	*	250	2
CSa	7,5	8,5	250	2
5CS	7,5	*	250	5
5CSa	7,5	8,5	250	5

\* pH não modificado

**Fonte: Teixeira (2018)**

Assim, para obter as nanopartículas foi utilizada a metodologia descrita por Albernaz (2014). Preparou-se 25 mL de uma solução aquosa contendo 7,5% (v/v) do extrato vegetal, 2% ou 5% (v/v) de solução à 1% (m/v) do agente capeante (citrato de sódio) com e sem ajuste de pH para 8,5. À esta solução, foi gotejado 250 mL de solução de nitrato de prata à 0,02 mmol. Todo o processo de gotejamento foi realizado sob agitação magnética à temperatura ambiente.

#### 4.4 Caracterização das nanopartículas de prata por UV-vis

As AgNPs obtidas no presente trabalho foram caracterizadas utilizando o espectrofotômetro UV-visível (OCEAN OPTICS, USB650UV), de 300 a 700 nm e uma cubeta de quartzo, onde a amostra foi colocada para análise. Para as leituras no espectrofotômetro, foi empregado como branco para cada amostra a mesma mistura de extrato e agente capeante, porém foi substituído a solução de nitrato de prata por água tipo 1.

#### 4.5 Elaboração dos filmes

Os filmes de amido de mandioca foram produzidos pela técnica *casting* com a suspensão de AgNPs. Então, 6,3 g de amido de mandioca foram dispersos em 180 mL da solução contendo as nanopartículas de prata, preparadas conforme item 4.3, procedendo-se de aquecimento sob agitação magnética até a temperatura de 90 °C por 10 minutos. O sistema foi resfriado até 60 °C e foi adicionado 2,7 g do plastificante glicerol. Em seguida, a solução geleificada foi colocada banho em ultrassônico (ELMA ULTRASONICS, P30H) a 35 kHz de frequência e 50 °C por 60 minutos, para desgaseificação. Por fim, a solução foi vertida em formas de silicone e secas em estufa com circulação de ar (Cinlab) a 50 °C por 7 dias, conforme apresentado na Figura 4.



O mesmo procedimento foi realizado para preparar o “branco”, substituindo a dispersão das nanopartículas de prata por água tipo 1.

**Figura 4 – Elaboração de filmes de amido contendo AgNPs.**



Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.6 Caracterização dos filmes de amido

Os filmes obtidos foram caracterizados quanto às análises de espessura, gramatura, solubilidade, umidade, permeabilidade e tração.

##### 4.6.1 Espessura

A determinação da espessura foi feita conforme Behrenchen (2014). A partir dos filmes produzidos, foram cortadas 4 amostras de cada filme com 2 cm de diâmetro, e com a utilização de um micrometro digital (Pantec) foi obtido a espessura destas amostras. Para melhor resultado, foram medidos 3 pontos aleatórios de cada amostra e calculou-se a média.

##### 4.6.2 Gramatura

A determinação da gramatura foi feita de acordo com a metodologia proposta por Sarantópoulos *et al.* (2002). Em uma balança analítica (Bioscale), foi pesada uma amostra do filme com uma área de 4 cm<sup>2</sup>. A gramatura (g.cm<sup>-2</sup>) foi calculada através da Equação 1. Esta análise foi realizada em quadruplicata.

$$G = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Sendo:

G = gramatura (g.cm<sup>-2</sup>)

P = massa do filme (g)

A = área do filme (cm<sup>2</sup>)

#### 4.6.3 Solubilidade

A análise de solubilidade do filme em água foi feita em quadruplicada através da metodologia proposta por Gontard *et al.* (1994 apud Almeida, 2010). Amostras de 4 cm<sup>2</sup> foram secas a 50 °C ± 2 °C por 2 horas e em seguida pesadas em balança analítica (Bioscale). Estas amostras foram imersas em recipiente contendo 50 mL de água destilada e colocadas sob agitação orbital em shaker (Novatecnica, NT715) à 50 rpm durante 24 horas em temperatura de ambiente. A suspensão resultante foi filtrada e o resíduo foi seco à temperatura de 105 °C por 24 horas em uma estufa de circulação de ar (Cinlab). Após a secagem, as amostras foram pesadas para determinar a quantidade de matéria seca não solubilizada. A solubilidade da película foi calculada seguindo a equação 2.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{Massa solubilizada}}{\text{Massa inicial}} * 100 \quad (2)$$

#### 4.6.4 Umidade

A umidade foi determinada segundo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), com modificações. Cadinhos de porcelana foram previamente limpos e secos em estufa (Cinlab) a 105 °C por 2 horas, seguido de resfriamento em dessecador até a temperatura ambiente. Então, as amostras cortadas em 2x2 cm foram adicionadas aos cadinhos (Figura 5) e pesadas em balança analítica (Bioscale). Após, foram colocados em estufa com circulação de ar a 105 °C por 24 horas, seguindo-se o resfriamento em dessecador, e posteriormente, pesagem. A umidade da película foi calculada conforme Equação 3.

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{A - B}{C} * 100 \quad (3)$$

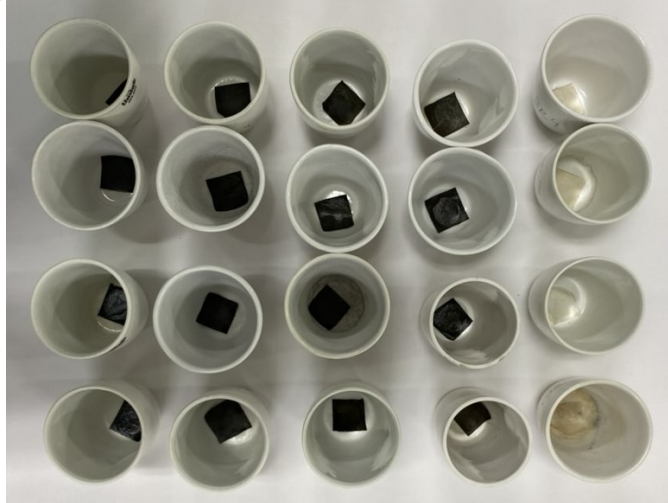
Sendo:

A = Massa inicial (cadinho + amostra) (g)

B = Massa final (cadinho + amostra seca) (g)

C = Massa da amostra inicial (g).

**Figura 5 – Análise de umidade dos filmes contendo AgNPs.**

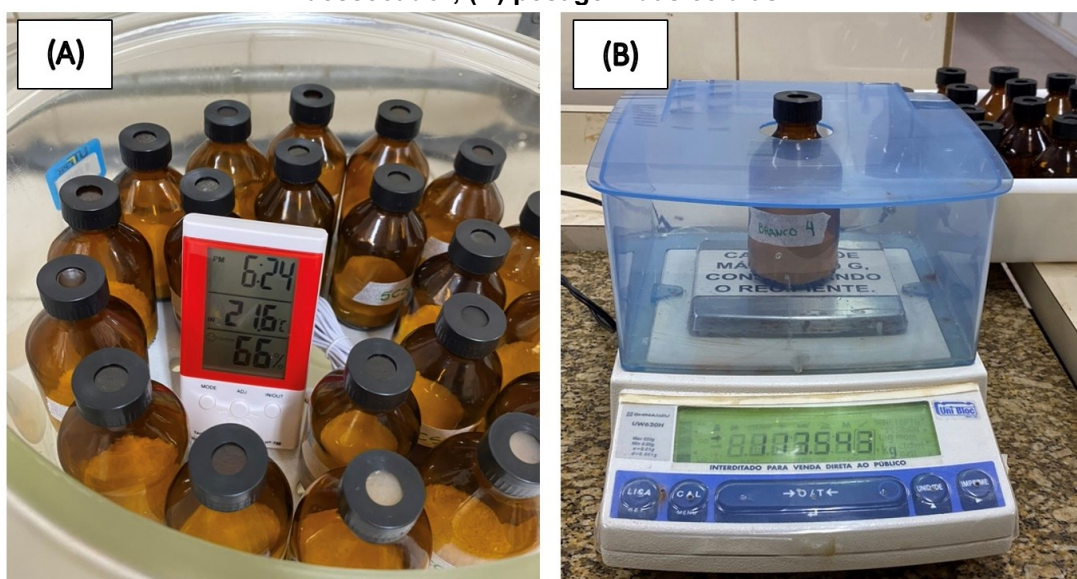


Fonte: Autoria própria (2022)

#### 4.6.5 Permeabilidade

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada gravimetricamente, de acordo com Chandra Mohan *et al.* (2018). As amostras dos filmes foram utilizadas para selar o buraco no topo de células contendo aproximadamente 1/3 do volume da célula de cloreto de cálcio anidro previamente seco, e estas foram pesadas e colocadas em um dessecador à  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  com UR de  $66\% \pm 2\%$  por 10 dias. Durante este período foram realizadas pesagens diárias das células (Figura 6).

**Figura 6 – (A) Células contendo cloreto de cálcio anidro e seladas com recortes dos filmes em dessecador; (B) pesagem das células.**



Fonte: Autoria própria (2022)

A permeabilidade ao vapor de água foi calculada por meio da equação 4.

$$WVP = \frac{\Delta m * L}{A. \Delta t. \Delta p} \quad (4)$$

Onde:

$\Delta m/\Delta t$ = quantidade de água absorvida pela amostra por tempo ( $\text{g.s}^{-1}$ );

L= espessura do filme ( $\mu\text{m}$ );

A= área da superfície de contato da amostra ( $\text{m}^2$ );

$\Delta p$ = diferença de pressão de vapor de água entre os dois lados do filme (Pa),

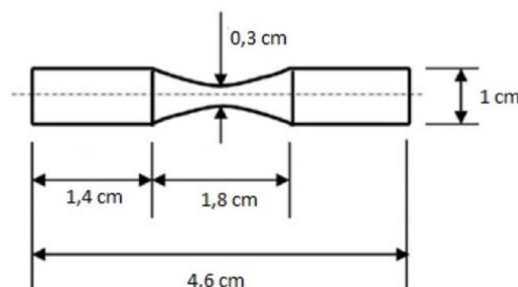
$$\Delta p = \frac{\Delta RH}{100} * p_{vap\ sat} \quad (5)$$

Para estimar a inclinação do gráfico ( $\text{g.s}^{-1}$ ) foi utilizada regressão linear. 'P<sub>vapsat</sub>' (pressão de vapor saturado da água pura) é igual a 3160 Pa a 25 °C e 'RH' é o gradiente de umidade relativa entre a célula e os arredores. A permeabilidade ao vapor d'água foi expressa em ( $\text{g.dia}^{-1}\text{m}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ ).

#### 4.6.6 Tração

As propriedades mecânicas dos filmes foram determinadas de acordo com a metodologia *American Society for Testing and Material* (ASTM D-882-00, 2001), utilizando-se um texturômetro (modelo TA-XT Express Enhanced Stable Micro Systems). Foram cortados 5 corpos prova de cada filme conforme Figura 7, e estes foram previamente condicionados em dessecadores contendo solução salina saturada de nitrato de magnésio ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ) por 48 horas para obter umidade relativa de aproximadamente 57%. Então, os corpos de prova foram ajustados no equipamento com distância de 30 mm entre as garras e foram submetidos ao teste com força de disparo de 0,05 N e velocidade de tração de  $1 \text{ mm.s}^{-1}$ .

Figura 7 – Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração.



Fonte: American Society for Testing and Material (ASTM D-882-00, 2001)

Desta forma, as propriedades mecânicas determinadas foram: resistência máxima à tração (MPa), alongação na ruptura (%) e módulo de Young (MPa).

A resistência máxima à tração (RT) é a relação entre a força máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ ) medida e área da seção transversal do corpo de prova ( $A_s$ ), a qual é calculada com os valores de largura (L) e espessura (e) do corpo de prova, conforme Equação 6.

$$RT = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A_s} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{e L} \quad (6)$$

A alongação na ruptura (E) é a relação percentual entre a variação no comprimento do corpo de prova ( $\Delta L$ ) e o seu comprimento inicial, que corresponde à distância entre as garras ( $d_{garras}$ ), conforme Equação 7.

$$E = \frac{\Delta L}{d_{garras}} \cdot 100 \quad (7)$$

O módulo de Young (MY) é uma propriedade mecânica que mede a rigidez do material. Essa propriedade foi determinada a partir da região linear da curva de força versus distância, conhecida como região elástica, de acordo com a Equação 8.

$$MY = a \cdot \frac{d_{garras}}{e L} \quad (8)$$

Onde:

MY= módulo de Young

$a$  = coeficiente angular da região linear da curva de força versus distância

$d_{garras}$ = distância entre as garras

$F_{m\acute{a}x}$ = força máxima na ruptura

e= espessura do corpo de prova

L= largura do corpo de prova

#### 4.7 Potencial antimicrobiano dos filmes

O potencial antimicrobiano dos filmes foi medido pelo método de disco-difusão de Kirby-Bauer, com modificações (Hudzicki, 2009). Quatro cepas de bactérias patogênicas: *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella sp.* (ATCC 700623) e *Bacillus cereus* (ATCC 14579), foram retiradas do acervo da UTFPR – Campo Mourão, reativadas em tubos de ensaio com caldo BHI (*Brain Heart Infusion*) estéril e incubadas em estufa bacteriológica à 37 °C até se observar a turvação do caldo.







Utilizou-se o caldo contendo o crescimento de cada microrganismo no método de esgotamento por estrias seguido de incubação à 37°C por 24 horas. Após, cinco unidades formadoras de colônias de cada microrganismo foram selecionadas, adicionadas ao caldo Müller-Hinton (MHB) e incubadas por 6 horas em estufa bacteriológica à 37 °C. Por fim, estes caldos foram padronizados com o auxílio da escala de McFarland (0,5).

Placas de Petri contendo ágar Müller-Hinton previamente preparado foram contaminadas com as soluções padronizadas contendo os microorganismos. Em seguida, os filmes produzidos com e sem (branco) AgNPs, cortados em discos de 2 mm e esterilizados em câmara de fluxo laminar com luz UV por 30 minutos em cada lado, foram colocados nas placas contaminadas juntamente com os discos de antibióticos.

Os disco contendo antibióticos selecionados foram Cefoxitina (CF); Sulfazotrim (SU); Cloranfenicol (CL). O experimento foi realizado em triplicada para cada microrganismo estudado. Todas as placas foram incubadas à 37 °C por 24 horas e por fim, os diâmetros das zonas de inibição de crescimento ao redor dos discos foram medidos utilizando um paquímetro.

A avaliação dos halos de inibição foi realizada de acordo com Pollini *et al.* (2011), onde a presença de halos com diâmetros iguais ou superiores a 1 mm é considerada boa para efeitos de inibição bacteriana decorridos da ação da nanopartícula de prata (Figura 8).

**Figura 8 – Capacidade antimicrobiana.**

Zona de inibição no disco	Aspecto visual	Resultado de inibição
Presença (> 1 mm)		Bom
Presença (< 1 mm)		Consideravelmente bom
Ausência de crescimento bacteriano		Suficiente
Limite de crescimento bacteriano		Limite
Amostra parcialmente habitada por bactérias (50%)		Insuficiente
Amostra totalmente habitada por bactérias		Insuficiente

Fonte: Pollini *et al.* (2011)

#### **4.8 Análise estatística**

A análise estatística dos dados foi realizada por meio da aplicação da análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 95%. As discrepâncias significativas entre os tratamentos foram diferenciadas através do teste de Tukey, utilizando o software Excel.

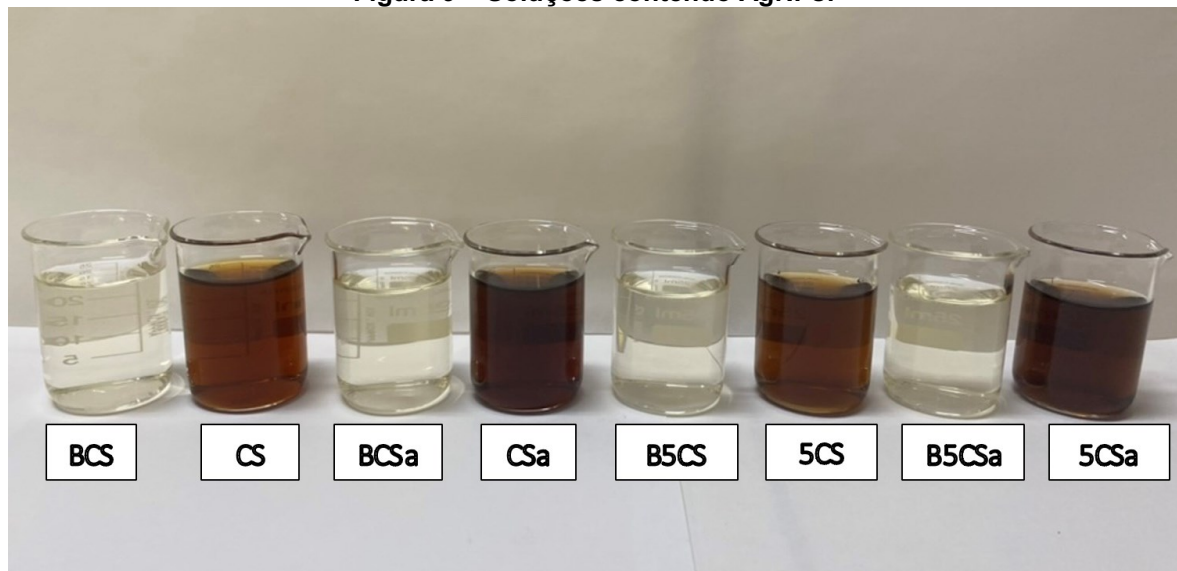


## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização das nanopartículas de prata por UV-vis

De acordo com o procedimento adotado para sintetizar as nanopartículas de prata, foram obtidas as amostras CS e CSa (com 2% do agente capeante citrato de sódio) e as amostras 5CS e 5CSa (com 5% do agente capeante citrato de sódio). A adição da letra "a" indica que o pH da amostra foi ajustado para 8,5. A Figura 9 apresenta o resultado relacionado à coloração das soluções de AgNPs após o processo de síntese.

**Figura 9 – Soluções contendo AgNPs.**



Codificação iniciando com B equivale ao branco das soluções com AgNPs.

**Fonte: Autoria própria (2022)**

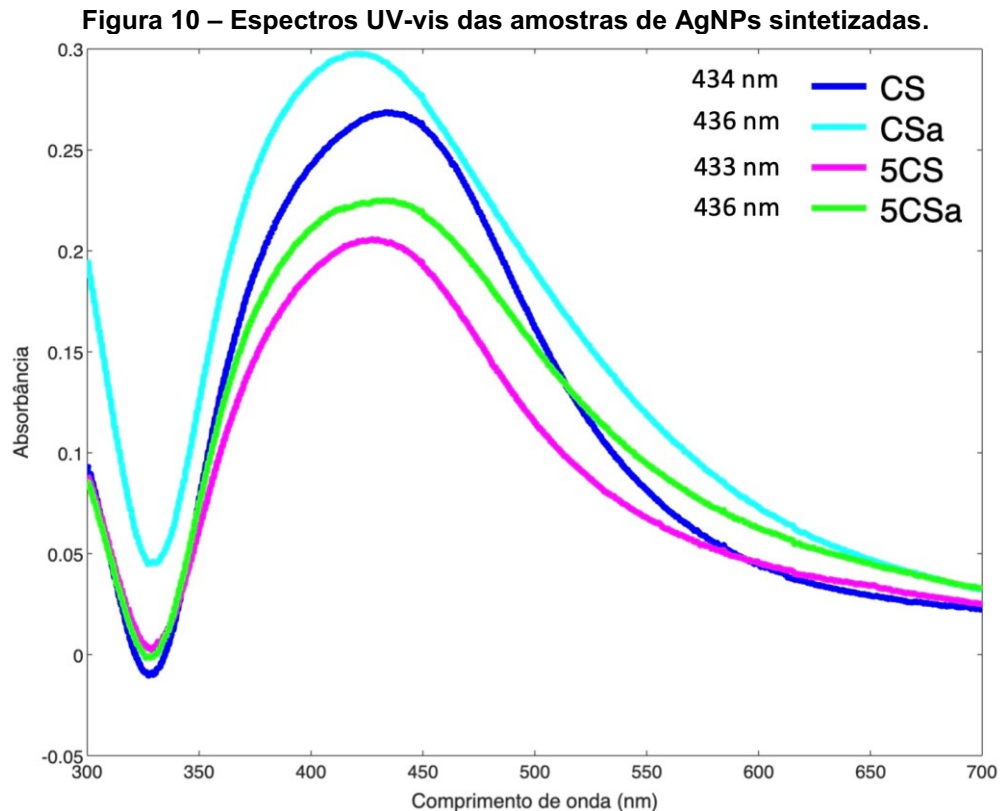
A formação das nanopartículas é inicialmente evidenciada pela mudança de cor da solução, que varia de acordo com o tamanho e formato das partículas. Solução amarelada indica a presença de nanopartículas esféricas com diâmetro entre 10-20 nm, apresentando absorvância em torno de 400 nm. No entanto, nanopartículas de prata esféricas com diâmetros maiores podem apresentar cores que variam entre laranja, verde e até violeta. Em aglomerados, a cor varia de cinza a preta (Zhang; Noguez, 2008).

Conforme a teoria de Mie, partículas de prata com diâmetros inferiores a 40 nm exibem um pico de absorção na faixa entre 380 e 420 nm. Entretanto, de acordo com Klabunde e Richards (2001), o deslocamento da banda para uma região espectral



de maior comprimento de onda sugere a formação de partículas maiores ou aglomerados.

De acordo com o espectro de absorção plasmon das amostras de AgNPs sintetizadas (Figura 10), é possível observar um pico de absorbância entre 433-436 nm, sugerindo assim a formação de partículas maiores que 40 nm.



Fonte: Autoria própria (2023)

A largura, posição e formato da banda plasmônica oferece informações sobre a configuração e a distribuição de tamanho das nanopartículas de prata (AgNPs). Nesse sentido, a presença de uma única banda estreita sugere a formação de AgNPs com pequena distribuição de tamanhos de partícula enquanto bandas alargadas indicam o oposto (Flach, 2021).

Teixeira (2018) reportou em seu trabalho de síntese de nanopartículas de prata picos máximos de absorbância em UV-vis, para as mesmas formulações (CS, CSa, 5CS e 5CSs), entre 426 nm e 437 nm. Analisou também o diâmetro médio das nanopartículas através da análise de espalhamento de luz dinâmico (DLS) (Quadro1).

**Quadro 1 – Resultados das análises de DLS e UV- Visível.**

Código	Z(nm)(DLS)	PDI (DLS)	$\lambda$ (nm)(UV-vis)
CS	65,88	0,4	431
CSa	56,64	0,559	426
5CS	64,62	0,653	423
5CSa	58,9	0,53	437

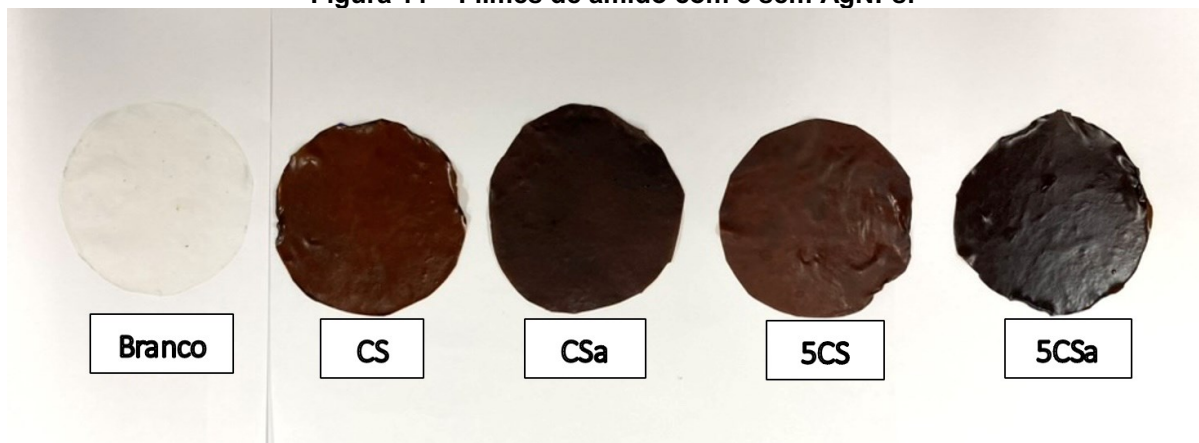
Z= diâmetro médio das nanopartículas; PDI= índice de polidispersão;  $\lambda$ = comprimento de onda.

Fonte: Teixeira (2018)

Os picos máximos de absorbância em UV-vis obtidos por Teixeira (2018) foram muito próximos ao deste trabalho (Figura 10) e então por DLS obtive os valores de tamanho de AgNPs, conforme apresentados no Quadro 1. Portanto, pode-se sugerir que as AgNPs sintetizadas no presente trabalho provavelmente apresentam tamanhos parecidos em torno de 60 nm.

## 5.2 Caracterização dos filmes de amido

Os filmes de amido de mandioca produzidos estão apresentados na Figura 11, podendo-se observar visualmente que a técnica por casting foi adequada para obter filmes íntegros.

**Figura 11 – Filmes de amido com e sem AgNPs.**

Fonte: Autoria própria (2022)

### 5.2.1 Gramatura e espessura

Os valores de espessura e gramatura dos filmes obtidos estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Resultados das análises de espessura e gramatura dos filmes obtidos.**

Filmes	Espessura (mm)	Gramatura (g.cm <sup>-2</sup> )
Branco	0,0719 ± 0,0192 <sup>a</sup>	0,0268 ± 0,0080 <sup>a</sup>
CS	0,0647 ± 0,0142 <sup>a</sup>	0,0263 ± 0,0054 <sup>a</sup>
CSa	0,0644 ± 0,0139 <sup>a</sup>	0,0246 ± 0,0030 <sup>a</sup>
5CS	0,0550 ± 0,0152 <sup>a</sup>	0,0276 ± 0,0275 <sup>a</sup>
5CSa	0,0694 ± 0,0084 <sup>a</sup>	0,0275 ± 0,0047 <sup>a</sup>

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A uniformidade da espessura no processo de obtenção de filmes é um aspecto relevante, visto que interfere diretamente nas propriedades mecânicas de filmes. Essa uniformidade torna-se um fator determinante para o desempenho desses materiais em equipamentos de conversão e máquinas de acondicionamento (Moraes, 2009).

A gramatura está diretamente relacionada a resistência mecânica e de barreira dos filmes, sendo que maiores gramaturas oferecem maiores resistências mecânicas (Sarantópoulos *et al.*, 2002).

Analisando a Tabela 2, pode-se observar que não houve diferença significativa ao nível de 5 % na espessura e na gramatura dos filmes, sugerindo que a técnica *casting* empregada no preparo foi adequada para produzir filmes uniformes em relação a estes parâmetros físicos. Os filmes produzidos no presente trabalho exibiram medidas de espessura semelhantes àqueles obtidos por Müller, Yamashita e Laurindo (2008) para filmes de amido de mandioca plastificado com glicerol ou sorbitol.

### 5.2.2 Umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor d'água

Os resultados de umidade, solubilidade e permeabilidade ao vapor d'água dos filmes estudados estão dispostos na Tabela 3.

A análise de umidade não apresentou diferença significativa ao nível de 5%. Isso evidencia a estabilidade e a proporcionalidade do processo de secagem dos filmes. De acordo com Mali, Grossmann e Yamashita (2010), analisar os parâmetros de umidade e atividade da água é crucial na elaboração de filmes biodegradáveis, especialmente devido à natureza hidrofílica do amido. Essa característica torna o amido suscetível a variações de umidade, o que pode ter implicações relacionadas ao ponto de vista microbiológico.

**Tabela 3 – Resultados das análises de solubilidade, umidade e permeabilidade ao vapor d'água (WPV) para os filmes obtidos.**

Filmes	Umidade (%)	Solubilidade (%)	WPV (g.dia <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> Pa <sup>-1</sup> )
Branco	17,3088 ± 1,6960 <sup>a</sup>	71,5992 ± 15,0635 <sup>c</sup>	5,43x10 <sup>-4</sup> ± 1,26x10 <sup>-4 a</sup>
CS	19,7209 ± 1,5067 <sup>a</sup>	18,7497 ± 0,4975 <sup>a</sup>	5,24x10 <sup>-4</sup> ± 9,78x10 <sup>-5 a</sup>
CSa	18,3629 ± 1,2456 <sup>a</sup>	31,5988 ± 1,2649 <sup>a</sup>	5,80x10 <sup>-4</sup> ± 5,35x10 <sup>-5 a</sup>
5CS	17,8914 ± 0,9243 <sup>a</sup>	38,6540 ± 4,4710 <sup>b</sup>	4,41x10 <sup>-4</sup> ± 1,32x10 <sup>-4 a</sup>
5CSa	19,9965 ± 1,4713 <sup>a</sup>	21,0660 ± 4,8223 <sup>a</sup>	5,76x10 <sup>-4</sup> ± 1,97x10 <sup>-4 a</sup>

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A análise da solubilidade em água tem importância quanto ao comportamento do filme frente a ambientes úmidos e a alimentos com alta atividade de água. Filmes com baixa solubilidade podem atuar como protetores para alimentos a fim de aumentar a integridade do produto e a resistência à água (Rodrigues, 2022).

A solubilidade dos filmes, quando nanopartículas foram adicionadas, mostrou diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) em relação ao filme sem adição de nanopartículas. A variação dessa propriedade foi de 18,7497% a 71,5992% em perda de massa, sendo o filme branco o mais solúvel. Os resultados indicam que as nanopartículas de prata contribuíram na diminuição da solubilidade final dos filmes.

O vapor d'água é um dos principais permeantes examinados em aplicações de embalagens de alimentos, pois pode ser transferido do ambiente interno ou externo através da parede polimérica da embalagem, ocasionando alterações na qualidade do produto e na sua vida útil (Kanatt *et al.*, 2012).

A permeabilidade é definida como a quantidade de umidade que atravessa uma área unitária de material por unidade de tempo. Essa propriedade está diretamente relacionada à característica higroscópica do material barreira. Em termos práticos, quanto menor a permeabilidade, maior é a eficiência do filme como uma barreira eficaz contra a umidade (Galindez *et al.*, 2019; Bastos *et al.*, 2016;).

Os resultados de permeabilidade ao vapor d'água variaram de 4,41x10<sup>-4</sup> a 5,80x10<sup>-4</sup> g.dia<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>Pa<sup>-1</sup>. Os filmes analisados não apresentaram diferenças significativas entre si ( $p > 0,05$ ).

Qi *et al.* (2023), sintetizou e incorporou nanopartículas de prata quelatadas com fisetina de *Toxicodendron vernicifluum* (FT-AgNPs) em filmes compósitos. A incorporação de FT-AgNPs demonstrou uma contribuição significativa na diminuição

da permeabilidade ao vapor de água, uma vez que as FT-AgNPs colaboraram para a coesão dos seus componentes. As interações tornaram a ligação molecular no filme mais estreita e melhorou assim o desempenho da barreira ao vapor de água.

Neste presente trabalho, os resultados sugerem que as soluções de nanopartículas incorporadas nos filmes de amido não interferiram em sua estrutura de rede.

### 5.2.3 Tração

As propriedades mecânicas dos filmes, obtidas por meio do ensaio de tração expressas em termos de resistência à tração (RT), alongação na ruptura (E) e módulo de Young (MY), são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4 – Módulo de Young, resistência à tração e alongamento na ruptura dos filmes.**

Filmes	RT (MPa)	E (%)	MY (MPa)
Branco	38,0207 ± 11,3264 <sup>a</sup>	3,5333 ± 4,9652 <sup>a</sup>	1300,8267 ± 220,2171 <sup>b</sup>
CS	18,2413 ± 1,3942 <sup>b</sup>	46,2667 ± 2,3094 <sup>b</sup>	260,9330 ± 63,1614 <sup>a</sup>
CSa	10,1480 ± 1,1375 <sup>b,c</sup>	22,4444 ± 6,8340 <sup>c</sup>	136,2223 ± 43,8870 <sup>a</sup>
5CS	7,0887 ± 0,4341 <sup>b,c</sup>	22,3333 ± 3,7118 <sup>c</sup>	120,4180 ± 17,4169 <sup>a</sup>
5CSa	4,2363 ± 1,1710 <sup>c</sup>	11,7778 ± 5,6993 <sup>a,c</sup>	103,0215 ± 38,2579 <sup>a</sup>

RT= resistência máxima a tração; E= alongação na ruptura; MY= módulo de Young.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

**Fonte: Autoria própria (2023)**

A resistência à tração representa a resistência do filme ao alongamento até a fratura, sendo esta uma medida da capacidade de estiramento do filme (Pastor *et al.*, 2010). A resistência à tração (RT) dos filmes com adição de nanopartículas (Tabela 4) foi significativamente diferente ( $P < 0,05$ ) em comparação com o filme branco. Em todos os filmes foi observado que a adição de nanopartículas de prata provocou diminuição da RT.

Com relação a alongação na ruptura (E), o filme CS, com 2% do agente capeante sem ajuste de pH para 8,5, apresentou um aumento significativo em relação ao filme branco, possivelmente devido ao seu efeito plastificante. Assim como na resistência a tração, as amostras CSa e 5CS e 5CSa não diferem entre si ao nível de 5% de significância para alongação na ruptura. Observou-se ainda que filmes cujo pH

foi ajustado para 8,5 apresentaram uma redução de cerca de 50% na elongação em comparação com os filmes sem ajuste de pH.

O módulo de Young é a relação entre a resistência à tração e porcentagem de alongamento e indica a rigidez do filme, ou seja, quanto maior o valor do módulo de Young mais rígido será o filme (Oliveira, 1996). Analisando a Tabela 4, as amostras contendo as soluções de nanopartículas de prata (CS, CSa, 5CS e 5CSa) não apresentaram diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ ), mas diferem do Branco neste parâmetro.

A resposta mecânica do material é afetada principalmente pela distribuição espacial dos diferentes constituintes, pelo seu estado físico e pelas interações estabelecidas entre eles. Normalmente, a incorporação de uma fase dispersa causa uma diminuição nos parâmetros de carga (módulo de Young e resistência à tração), como relatado por Pastor *et al.* (2010).

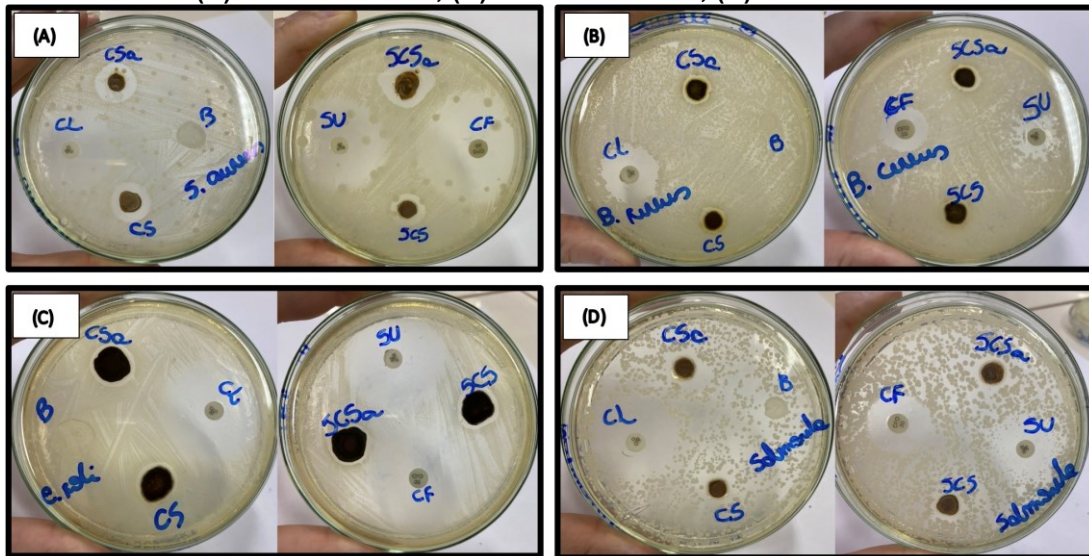
Ao analisarmos a resistência à tração, a elongação na ruptura e o módulo de Young, observamos que o filme branco revela a maior resistência à tração, a menor elongação na ruptura e o módulo de Young mais elevado, evidenciando-se como a amostra mais rígida.

Os resultados indicam que a adição de nanopartículas de prata proporcionou filmes com menor resistência mecânica, evidenciada pela diminuição da resistência à tração e do módulo de Young, e com maior flexibilidade, conforme indicado pelos valores de alongamento na ruptura.

#### 5.2.4 Atividade antimicrobiana pelo método disco-difusão

O potencial antimicrobiano dos filmes contendo nanopartículas de prata foi avaliado em diferentes cepas bacterianas, conforme descrito na metodologia. A Figura 12 ilustra os halos de inibição formados pelas amostras em cada microrganismo.

Figura 12 – Resultado do teste de disco-difusão de Kirby- Bauer – (A) *Staphylococcus aureus*; (B) *Bacillus cereus*; (C) *Escherichia coli*; (D) *Salmonella*.



Discos de antibióticos de referência: Cefoxitina (CF); Sulfazotrim (SU); Cloranfenicol (CL).

Fonte: Autoria própria (2022)

Os resultados das medidas dos halos de inibição formados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Medida dos diâmetros dos halos de inibição formados no teste de disco-difusão.

Filmes	<i>S. aureus</i> (mm)	<i>B. cereus</i> (mm)	<i>E. coli</i> (mm)	<i>Salmonella</i> (mm)
Branco	*	*	*	*
CS	12,2867 ± 0,3027 <sup>a</sup>	8,0000 ± 0,2088 <sup>a</sup>	8,8800 ± 0,3027 <sup>a</sup>	9,3000 ± 0,9718 <sup>a</sup>
CSa	13,0533 ± 0,9531 <sup>a</sup>	8,4667 ± 0,2301 <sup>a</sup>	8,6600 ± 0,9531 <sup>a</sup>	9,6867 ± 0,8554 <sup>a</sup>
5CS	12,7533 ± 0,3717 <sup>a</sup>	7,6000 ± 0,4866 <sup>a</sup>	8,5667 ± 0,3717 <sup>a</sup>	9,5333 ± 0,2579 <sup>a</sup>
5CSa	12,5933 ± 0,3870 <sup>a</sup>	8,1133 ± 0,4726 <sup>a</sup>	8,2467 ± 0,3870 <sup>a</sup>	10,3133 ± 0,1747 <sup>a</sup>

\* não apresentam halo de inibição.

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023)

Em cada microrganismo analisado, não foi observada formação de halo no filme controle (branco), e os filmes contendo AgNPs não apresentaram diferença significativa entre si ( $p > 0,05$ ).

Os resultados evidenciam a eficácia das nanopartículas de prata como agente bactericida, visto que em todas as amostras foram observados halos de inibição com tamanhos iguais ou superiores a 1 mm, exceto o filme controle – Branco (B). Os valores considerados como referência para essa afirmação foram extraídos do estudo realizado por Pollini *et al.* (2011), mencionado anteriormente no tópico 4.7 (Figura 8).

A bactéria *S. aureus* destaca-se como o microrganismo mais sensível para todas as formulações de filmes testados, apresentando halos de inibição maiores que 12 mm.

Mudara *et al.* (2017) em seu trabalho de avaliação da atividade antimicrobiana de nanopartículas de prata biossintetizadas pela bactéria *P. aeruginosa*, obteve medidas dos halos de inibição de 12,3 mm para *S. aureus*, 13 mm para *E. coli* e 12,7 mm para *Salmonella*.

Azizian-Shermeh, Einali e Ghasemi (2017) analisaram a atividade antimicrobiana do extrato de folha de laranja Osage (*Maclura pomifera*) e de nanopartículas de prata sintetizadas com o extrato da folha de laranja Osage em diferentes concentrações. Obtiveram medidas dos diâmetros dos halos de inibição de 13,2 mm para *S. aureus* e 12,3 mm para *B. cereus* e 15,4 mm para *E. coli*, sendo estes resultados da concentração intermediária de AgNPs utilizado (0,04 mg mL<sup>-1</sup>).

Os resultados obtidos para *S. aureus* foram semelhantes com os das literaturas apresentadas, porém para *B. cereus*, *E. coli* e *Salmonella* foram menores.

Com base nos resultados deste trabalho, não há diferença estatística significativa entre os filmes. Assim, independente da formulação dos filmes contendo nanopartículas de prata, todos inibiram de modo “bom” o crescimento dos microrganismos analisados.



## 6 CONCLUSÃO

Com a realização do presente trabalho pôde-se concluir que o extrato vegetal de dente de leão (*T. officinale*) possui capacidade para atuar como agente redutor no processo de síntese verde e obtenção de AgNPs, visto que a análise de UV-visível comprova a formação de nanopartículas; e que estas podem ser empregadas em polímeros naturais obtendo-se filmes biodegradáveis antimicrobianos.

Os resultados das análises de gramatura e espessura apontaram uniformidade na produção dos filmes, indicando que a técnica de casting empregada foi favorável à produção de filmes consistentes. A análise de solubilidade indicou que as nanopartículas de prata contribuíram para a redução da solubilidade final dos filmes, sugerindo maior resistência à água. A permeabilidade ao vapor d'água foi consistente entre as amostras e os resultados sugerem que a incorporação de nanopartículas não interferiu na estrutura de rede dos filmes.

Com relação às propriedades mecânicas, a incorporação de nanopartículas de prata reduziu a resistência à tração e o módulo de Young, mas aumentou o alongamento na ruptura. Assim, pode dizer que as AgNPs agiram como plastificante e aumentou a flexibilidade do biopolímero. Quanto as aplicações microbiológicas, todas as formulações se apresentaram eficientes à inibição dos microrganismos estudados, caracterizando os filmes obtidos como bons antimicrobianos.

Portanto, os resultados deste trabalho indicam que a incorporação de nanopartículas de prata em filmes de amido não apenas impacta positivamente as propriedades antimicrobianas, mas também influencia as características físicas e mecânicas dos filmes. Esses resultados fornecem informações importantes para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com propriedades desejáveis para diversas aplicações, incluindo a conservação de alimentos. No entanto, há necessidade de realizar análises mais específicas para avaliar a toxicidade da prata em embalagens alimentícias.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, S. *et al.* A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise. **Journal of Advanced Research**, v. 7, n. 1, p. 17-28, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2015.02.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123215000314>. Acesso em: 12 out. 2023.
- AKTER, M. *et al.* A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives. **Journal of Advanced Research**, v. 9, p. 1-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.10.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123217301121>. Acesso em: 03 out. 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**. 2014. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Nanociência e Nanobiotecnologia) - Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/16467>. Acesso em: 12 out. 2023
- ALMEIDA, D. M. **Biofilme de Blenda de Fécula de Batata e Celulose Bacteriana na conservação de Fruta Minimamente Processada**. 2010. Dissertação (Doutorado em Processos Biotecnológicos Agroindustriais). Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/25350>. Acesso em: 29 abr. 2022.
- ALVES, V. D. *et al.* Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 941-946, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877405007983>. Acesso em 28 out. 2023.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheet**. ASTM D882-00. Philadelphia, p. 9, 2001.
- ANTUNES, F. *et al.* Síntese, caracterização e aplicação de nanopartículas de prata como agentes antimicrobianos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 20–26, 2013. Disponível em: [https://www.academia.edu/31518330/S%C3%ADntese\\_caracteriza%C3%A7%C3%A3o\\_e\\_aplica%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_nanopart%C3%ADculas\\_de\\_prata\\_como\\_agen tes\\_antimicrobianos](https://www.academia.edu/31518330/S%C3%ADntese_caracteriza%C3%A7%C3%A3o_e_aplica%C3%A7%C3%A3o_de_nanopart%C3%ADculas_de_prata_como_agen tes_antimicrobianos). Acesso em: 07 abr. 2022.
- ARAÚJO, G. K. P. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido incorporados com extrato de própolis**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014. Disponível em:

[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6545/3/CM\\_COALM\\_2013\\_2\\_09.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6545/3/CM_COALM_2013_2_09.pdf). Acesso em 28 out. 2023.

AYYUBI, S. N.; PURBASARI, A.; KUSMIYATI. The effect of composition on mechanical properties of biodegradable plastic based on chitosan/cassava starch/PVA/crude glycerol: Optimization of the composition using Box Behnken Design. **Materials Today Proceedings**, v. 63, n. 1, p. s78-s83, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.294> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322003273>. Acesso em: 12 abr. 2022.

AZIZIAN-SHERMEH, O.; EINALI, A.; GHASEMI, A. Rapid biologically one-step synthesis of stable bioactive silver nanoparticles using Osage orange (*Maclura pomifera*) leaf extract and their antimicrobial activities. **Advanced Powder Technology**, v. 28, n.12, p. 3164-3171, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.10.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921883117303825>. Acesso em: 13 nov. 2023.

BEHRENCHEM, L. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido incorporados com zeólita**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6537>. Acesso em: 28 abr. 2022.

BASTOS, M. S. R. *et al.* Physical and mechanical testing of essential oil-embedded cellulose ester films. **Polymer Testing**, v. 49, p. 156-161, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.11.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941815300441>. Acesso em: 13 nov. 2023.

BRAGA, L. R.; SILVA, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, p. 170–186, 2017. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>. Acesso em: 06 abr. 2022.

CHANDRA MOHAN, C. *et al.* Effect of film constituents and different processing conditions on the properties of starch based thermoplastic films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 2001-2016, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.161>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018345306?via%3Di%3Dhub>. Acesso: 02 maio 2021.

DANTAS, E. A. *et al.* Caracterização e avaliação das propriedades antioxidantes de filmes biodegradáveis incorporados com polpas de frutas tropicais. **Ciência Rural**, v. 45, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131458>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/PDcGCvdmSynw5jVYFqhKBbD/?lang=pt#>. Acesso em: 25 out. 2023.

DAS, P. *et al.* Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using belladonna mother tincture and its efficacy as a potential antibacterial and anti-inflammatory agent. **Materials Chemistry and Physics**, v. 228, p. 310-317, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.02.064>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254058419301592>. Acesso em: 03 out. 2023.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v.39 n.3, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FSP37sVnbZjVK9zLLSSsX5h/#>. Acesso em 28 out. 2023.

DESHMUKH, S. P. *et al.* Silver nanoparticles as an effective disinfectant: A review. **Materials Science and Engineering: C**, v. 97, p. 954-965, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.102>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493118322045>. Acesso em: 03 out. 2023.

FLACH, E. C. **Síntese verde via micro-ondas de nanopartículas de prata usando extrato aquoso de rabanete (*Raphanus sativus*): aplicação em biossensor nanoplasmonico**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/233353/001134871.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 11 nov. 2023.

FILIP, R. *et al.* Antioxidant activity of *Ilex Paraguariensis* and related species. **Nutrition Research**, Buenos Aires, Argentina, v. 20, p. 1437-1446, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(00\)80024-X](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(00)80024-X). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027153170080024X>. Acesso em: 29 abr. 2022.

GALINDEZ, A. *et al.* Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature. **Carbohydrate Polymers**, v. 215, p. 143-150, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.074>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861719303467?via%3Dihub>. Acesso em: 13 nov. 2023.

GOMES, M. L. S. **Filmes biodegradáveis de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): uma revisão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: [https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6580/2/TCC\\_MariaLet%C3%ADciaGomes.pdf](https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/6580/2/TCC_MariaLet%C3%ADciaGomes.pdf). Acesso em 28 out. 2023.

GONTARD, N. *et al.* Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapor permeability and other physical properties. **International Journal of Food Science and Technology**, v.29, p. 39-50, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.13652621.1994.tb02045.x>. Disponível em: <https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365->

2621.1994.tb02045.x<https://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=US201301486213>. Acesso em: 02 maio 2022.

HUDZICKI, J. Kirby- Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol. **American Society for Microbiology**, 2009. Disponível em: <https://asm.org/getattachment/2594ce26-bd44-47f6-8287-0657aa9185ad/Kirby-Bauer-Disk-Diffusion-Susceptibility-Test-Protocol-pdf.pdf>. Acesso em: 02 maio 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: IMESP, 2008.

ISLAM, N. U. *et al.* Green synthesis and biological activities of gold nanoparticles functionalized with *Salix alba*. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 8, p. 2914–2925, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.06.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535215001975>. Acesso em: 08 abr. 2022.

JAMKHANDE, P. G. *et al.* Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. **Journal of Drug Delivery Science and Technology**, v. 53, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101174>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1773224718308189>. Acesso em: 29 set 2023.

KANATT, S. R. *et al.* Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. **Food Hydrocolloids**, v. 29, n. 2, p. 290-297, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.03.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X12000653>. Acesso em 12 nov. 2023.

KLABUNDE, K. J. RICHARDS, R. M. **Nanoescale materials in chemistry**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

MALI, S.; GROSSMAN, M. V.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção propriedade e potencial de utilização. **Semina: Ciências, Agrárias**, Londrina, 2010, v. 31, n.1, p. 137- 156, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744095013.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2023

MALI, S. *et al.* Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. **Carbohydrate Polymers**, v. 60, n. 3, p.283-289, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.01.00>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861705000214>. Acesso em: 26 out. 2023.

MORAES, J. O. **Propriedades de Filmes de Amido Incorporados de Nanoargilas e Fibras de Celulose**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92616>. Acesso em: 11 nov. 2023

MUDARA, K. P. *et al.* Biosynthesized silver nanoparticles: are they effective antimicrobials? **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 112, p. 537-543, 2017. DOI: 10.1590/0074-02760170023. Disponível em: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5530545/#:~:text=Among%20the%20metallic%20NPs%2C%20silver,fungal%20species%20\(Kushwaha%20et%20al.](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5530545/#:~:text=Among%20the%20metallic%20NPs%2C%20silver,fungal%20species%20(Kushwaha%20et%20al.) Acesso em: 12 nov. 2023.

MÜLLER, C.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, p. 82-87, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861707003736>. Acesso em: 11 nov. 2023.

OLIVEIRA, L. M. **Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, p. 219, 1996.

PASTOR, C. *et al.* Physical and antifungal properties of hydroxypropylmethylcellulose based films containing propolis as affected by moisture content. **Carbohydrate Polymers**, v.82, n.4, p.1174-1183, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.051>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861710005205>. Acesso em: 15 nov. 2023.

POLLINI, M. *et al.* Antibacterial coatings on haemodialysis catheters by photochemical deposition of silver nanoparticles. **Journal of Materials Science in Medicine**, v. 22, p. 1712-1720, 2011.

QI, Z. *et al.* Developing fisetin-AgNPs incorporated in reinforced chitosa pullulan composite-film and its application of postharvest storage in litchi fruit. **Food Chemistry**, v. 407, 2023 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135122>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814622030849>. Acesso em: 13 nov. 2023.

RAI, M.; YADAV, A.; GADE, A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 1, p. 76-83, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975008000918>. Acesso em: 03 out. 2023.

RAO, K. J.; PARIJA, S. Green synthesis of silver nanoparticles from aqueous Aegle marmelos leaf extract. **Materials Research Bulletin**, v. 48, n. 2, p. 628-634, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.11.035>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025540812008707>. Acesso em: 12 out. 2023.

RASHEED, T. *et al.* Biogenic synthesis and characterization of cobalt oxide nanoparticles for catalytic reduction of direct yellow-142 and methyl orange dyes. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 19, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101154>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818119302968>. Acesso em: 22 out. 2023.

RIBEIRO, M.; ALBIERO, A. L. M.; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. *Taraxacum officinale* Weber (dente-de-leão) – uma revisão das propriedades e potencialidades medicinais. **Arquivos da Apadec**, v.8, n.2 p. 46–44, 2004. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/20552/10786>. Acesso em: 09 abr. 2022.

RODRIGUES, C. G. **Produção de filmes comestíveis biodegradáveis a partir de bagaço de malte ou subprodutos do processamento de mandioca**. 2022. Dissertação (Doutorado - Programa de Pós Graduação em Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/48373>. Acesso em 11 nov. 2023.

SANFELICE, R. C.; PAVINATTO, A.; CORRÊA, D. S. **Introdução à nanotecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2022. E-book. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-list/9786555502527-586/list#undefined>. Acesso em: 30 set. 2023.

SARANTÓPOULOS, *et al.* **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação das propriedades**. CETEAI/ITAL, Campinas, 2002.

SHARMA, V. K.; YNGARD, R. A.; LIN, E. Silver nanoparticles: Green synthesis and their antimicrobial activities. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 145, n. 1-2, p.83-96, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868608001449#bib46>. Acesso em: 07 out. 2023.

SUEIRO, A. C. *et al.* Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulose bacteriana. **Química Nova**, v.39, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160118>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/BC867VWFYs5jZK7yMHfVmbG/?lang=pt>. Acesso em: 25 out. 2023.

TEIXEIRA, B. A. *et al.* Caracterização de filme a base de amido, biossurfactante e celulose bacteriana. *In: Congresso Brasileiro De Polímeros*, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://edemocracia.com.br/cbpol/anais/2013/pdf/6ENS.pdf>. Acesso em: 25 out. 2023.

TEIXEIRA, L. G. **Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extrato aquoso de dente de leão como agente redutor, com e sem adição de agentes capeantes**. 2018. Relatório de Pesquisa do Programa de Iniciação Científica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

ZHANG, J. Z.; NOGUEZ, C. Plasmonic optical properties and applications of metal nanostructures. **Plasmonics**, v. 3, p. 127- 150, 2008. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11468-008-9066-y>. Acesso em: 13 nov. 2023.