



FILMES DE AMIDO DE MILHO COM AgNPs SINTETIZADAS COM EXTRATO VEGETAL

Manuelle K. Boeira¹; Milleny Ferreira¹; Vilma Escobar²; Carlos Doldán²; Jacqueline Arguello¹; Vladimir Lavayen¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

²Universidad La Paz, Ciudad del Este, Paraguay

manuelleboeira45@gmail.com

Palavras-Chave: biopolímeros, nanopartículas de prata, química verde.

Introdução

O amido de milho (corn starch, CS) apresenta excelentes propriedades filmogênicas, tornando-se um dos materiais naturais mais estudados e promissores para o desenvolvimento de embalagens e filmes biodegradáveis [1]. Está constituído por aproximadamente 75% de amilopectina e 25% de amilose, dois polímeros estruturais de glicose que determinam a resistência, a flexibilidade e o desempenho de barreira do material [2]. A enorme quantidade de ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares presentes na amilose linear e nas cadeias ramificadas da amilopectina forma uma rede de biopolímero flexível, acessível e sustentável na produção de embalagens e revestimentos comestíveis para frutas e vegetais [3]. Além disso, o amido de milho é um recurso renovável e de baixo custo, que se apresenta como uma alternativa ecologicamente correta aos plásticos à base de petróleo.

Para aprimorar as propriedades e ampliar as aplicações dos filmes de amido, são incorporados, frequentemente, aditivos com funções plastificantes, agentes reticulantes, compostos bioativos, e outros materiais de reforços estruturais [4]. Tem sido observado que a adição de nanopartículas específicas aumenta significativamente a resistência mecânica, a estabilidade térmica e confere propriedades de barreira à umidade.

Nanopartículas de prata (AgNPs) têm sido utilizados como agentes de reforço e antibacterianos para melhorar as propriedades funcionais de filmes de amido de milho. Além disso, também demonstraram capacidade de proteção contra a radiação UV [5]. Extratos vegetais vem sendo utilizados como agentes redutores com excelentes resultados na obtenção de nanopartículas metálicas [6]. Estes representam não apenas uma alternativa acessível na produção de nanopartículas estáveis, mas também uma forma de reduzir o uso de produtos químicos tóxicos ou de agentes redutores fortes. Considerando o exposto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver filmes de amido de milho contendo AgNPs, utilizando extrato de folhas da planta *Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze, conhecida popularmente como terramicina ou penicilina, devido as suas propriedades ações anti-inflamatória, analgésica e antiviral [7]. Os filmes produzidos foram caracterizados por espectroscopia na

região UV-Vis e infravermelho médio, além de análises de cores utilizando o sistema CIE $L^*a^*b^*$.

Materiais e Métodos

Folhas frescas de *Alternanthera brasiliana* foram colhidas de uma floricultura local. Na preparação dos filmes foi utilizado amido de milho da marca Maizena, os reagentes nitrato de prata (AgNO_3 , >99,8%) e glicerol da Sigma-Aldrich, e água ultrapura (obtido do sistema Millipore Direct-Q3).

As etapas da preparação do extrato são apresentadas na Figura 1. Brevemente, folhas frescas de *Alternanthera brasiliana* foram lavadas e secas ao ar, 20 g das quais foram trituradas e maceradas em 100 mL de etanol a temperatura ambiente. Após filtragem o extrato de coloração verde foi armazenado protegido da luz e sob refrigeração.



Figura 1. Preparação do extrato etanólico de folhas de *Alternanthera brasiliana*.

Na produção dos filmes, ver Figura 2, 0,75 g de amido de milho foram dissolvidos em 10 mL de água ultrapura, seguidamente da adição de glicerol como plastificante (30% da massa de amido ou 0,22 g) (amostra denominada como “CS”). A solução foi aquecida a 90 °C sob agitação magnética até iniciar a gelatinização. Imediatamente, foi vertida em placas de Petri de acrílico com 60 mm de diâmetro e deixadas em repouso por 12 horas antes de secagem a 40°C por aproximadamente 12 horas. Na amostra “CS/Ext” foi adicionada 0,26 mL da solução do extrato para obter uma concentração final de 5 mg mL⁻¹. A amostra “CS/Ag” foi adicionada 50 µL de AgNO_3 0,050 mol L⁻¹ para formação das AgNPs. As amostras “CS/Ext/AgNPs” contém 0,26 mL do extrato e solução de AgNO_3 em diferentes proporções (50 µL, 100 µL e 200 µL).



Figura 2. Esquema da preparação dos filmes de amido com as AgNPs.

A espessura do filme foi medida com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. Os filmes de amido de milho foram caracterizados por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier com Reflectância Total Atenuada (FTIR-ATR). As análises foram realizadas em um espectrofotômetro Shimadzu IRSpirit-T, equipado com o acessório QATR-S, para medição das amostras no modo ATR. Os espectros foram coletados na região de 4000 a 400 cm^{-1} , com 64 varreduras realizadas a uma resolução de 4 cm^{-1} . Espectros UV-Vis dos filmes foram registrados na faixa de comprimento de onda (λ) de 200 a 800 nm usando um espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu, UV-2600). A opacidade dos filmes foi calculada dividindo a absorbância medida a 600 nm pela espessura do filme, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Opacidade} = \frac{A_{600}}{x}$$

O sistema de cores CIE $L^*a^*b^*$ foi utilizado para quantificar a opacidade, a transparência e as transições de cor nos filmes de amido de milho contendo AgNPs. Cada valor $L^*a^*b^*$ reportado foi medido em triplicata para o cálculo de desvio padrão.

Resultados e Discussão

A Figura 3A-B mostra a evolução da coloração dos filmes após 12 horas de repouso a temperatura ambiente. Nos filmes contendo íons prata e o extrato vegetal houve evolução da coloração amarelo pálido para vermelho-amarronzado, característica da redução dos íons prata. Após secagem, a Figura 3C mostra a aparência homogênea e livre de bolhas e rachaduras dos filmes de amido de milho sem e com AgNPs, com espessuras variando de 0,27 a 0,42 mm. O aumento da espessura do filme na presença do extrato e das AgNPs não foi significativa, sugerindo que a razão entre a massa da solução filmogênica e a área da placa utilizada foi adequada. A leve tonalidade rosa de CS/AgNPs em comparação com CS comprova a capacidade redutora do amido de milho [8], porém com menor poder redutor se comparado ao filme que contém juntamente o extrato vegetal (CS/Ext/AgNPs(1)). Também

foi evidenciado intensificação da coloração com o aumento da concentração das nanopartículas (1-3).

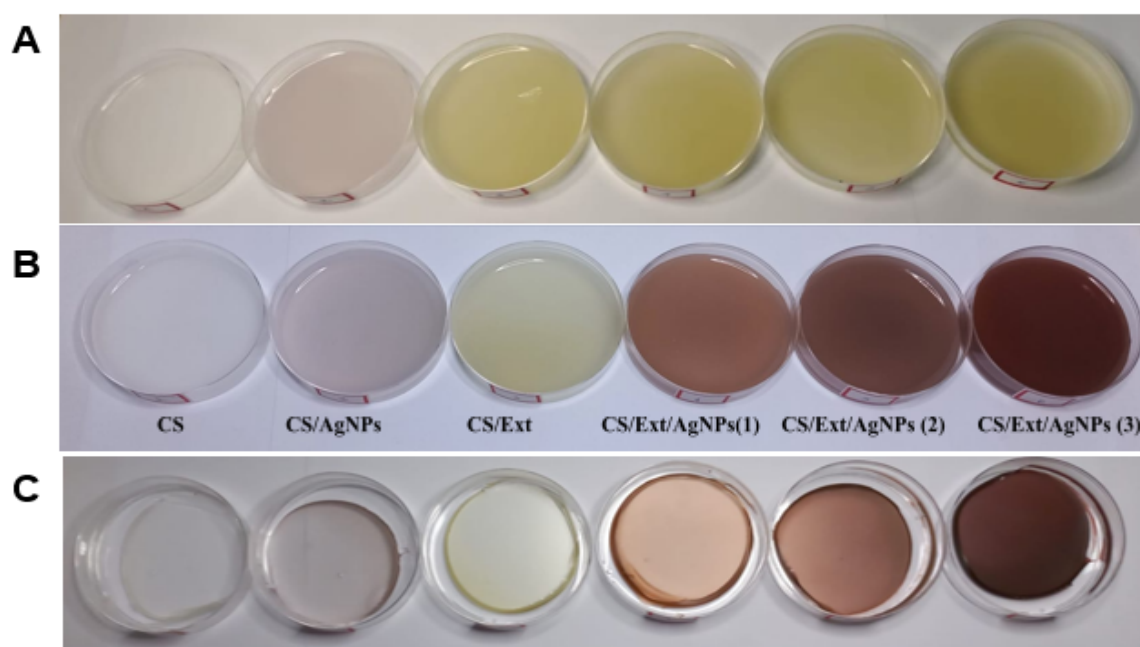


Figura 3 – Fotos dos filmes após uma hora (A), 12 horas (C) e após secagem (C).

A incorporação das AgNPs em filmes de amido de milho pode alterar drasticamente suas propriedades ópticas. Como pode ser visto na Tabela 1, houve um aumento da opacidade com o aumento da concentração das AgNPs. Por outro lado, houve diminuição no valor de “L”, que indica claridade ou luminosidade; as AgNPs promovem adsorção, reduzindo a transparência, tornando os filmes mais opacos. Valores positivos de a^* (eixo vermelho/verde) indica deslocamento para vermelho, o qual pode ser influenciado pelo formato das nanopartículas. Considerando o eixo b^* (amarelo/azul), a amostra 3 (CS/Ext) apresentou valor positivo que denota tons amarelos, já as que contêm AgNPs apresentaram valores negativos que significa tons azuis. Estes últimos são característicos de nanopartículas com certo grau de agregação ou neste caso interação com a matriz de amido, o qual provoca um deslocamento para comprimentos de ondas maiores, permitindo que a luz azul seja transmitida ou espalhada preferencialmente.

Tabela 1– Propriedades dos filmes sintetizados.

Amostra	Espessura (mm)	Opacidade (mm ⁻¹)	Indicadores de cor (CIELAB)			
			L^*	a^*	b^*	ΔE^*_{ab}
1	0,27 ± 0,03	0,194±0,002	92,9 ± 0,3	2,0 ± 1,3	-3,2 ± 2,2	9,3 ± 0,3
2	0,42 ± 0,01	0,121±0,002	91,1 ± 0,8	3,6 ± 2,6	-8,8 ± 2,1	98,0 ± 0,8
3	0,38 ± 0,02	0,201±0,002	100,0 ± 0,8	10,6 ± 1,3	17,8 ± 2,4	108,8 ± 1,2

4	$0,28 \pm 0,01$	$0,422 \pm 0,002$	$98,3 \pm 0,7$	$27,7 \pm 0,9$	$-2,5 \pm 3,0$	$108,3 \pm 0,6$
5	$0,41 \pm 0,01$	$0,379 \pm 0,001$	$81,6 \pm 6,8$	$29,1 \pm 6,2$	$-72,5 \pm 24,3$	$117,7 \pm 10,9$
6	$0,30 \pm 0,02$	$1,574 \pm 0,005$	$60,5 \pm 5,9$	$17,5 \pm 2,1$	$-167,7 \pm 32,4$	$180,8 \pm 28,7$

A Figura 4 mostra os espectros UV-Vis dos filmes produzidos. As amostras CS/Ext/AgNPs(1-3) apresentam banda de absorção na região de 400-600 nm correspondente à ressonância de plásmon de superfície (SPR) das AgNPs [8]. É importante destacar que AgNPs, pequenas e bem dispersas, absorvem luz violeta/azul (banda de adsorção entorno de 400 nm). No entanto, quando as partículas estão muito próximas (gerando aglomerados) ou estão recobertas por uma camada de algum material como o amido, a banda de ressonância é deslocada para comprimentos de onda mais longos (500–600 nm). Além disso, houve um aumento da intensidade da banda com o aumento da concentração das nanopartículas.

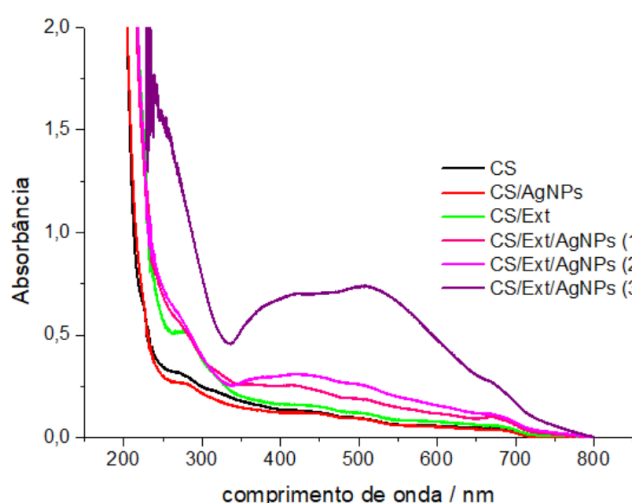


Figura 4 – Espectro UV-Vis dos filmes produzidos.

Na Figura 5 são apresentados os espectros FTIR-ATR dos filmes produzidos. Embora AgNPs não absorva na faixa do infravermelho médio ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$), o espectro reflete as modificações impostas à matriz de amido. Como pode ser observado, variações nas intensidades das bandas são observadas nos espectros de CS/Ext/AgNPs(2) e CS/Ext/AgNPs(3). A diminuição da banda em 3290 cm^{-1} , correspondente ao estiramento do grupo O–H, indica uma redução nos grupos hidroxila (–OH) livres [5]. Os átomos superficiais das AgNPs coordenam-se com os átomos de oxigênio dos grupos –OH, restringindo assim a mobilidade. Da mesma forma, a diminuição da intensidade da banda em 2923 cm^{-1} , associada ao estiramento C–H, é indicativo de fortes interações químicas e físicas na matriz polimérica. Também foi observada alteração na banda em 1648 cm^{-1} , atribuído a vibração de estiramento O–H proveniente da umidade absorvida no filme, que pode estar associada a diferenças no teor de umidade. Alterações na região de 1000 cm^{-1} também sugerem um rearranjo estrutural das cadeias de amido devido a incorporação das nanopartículas.

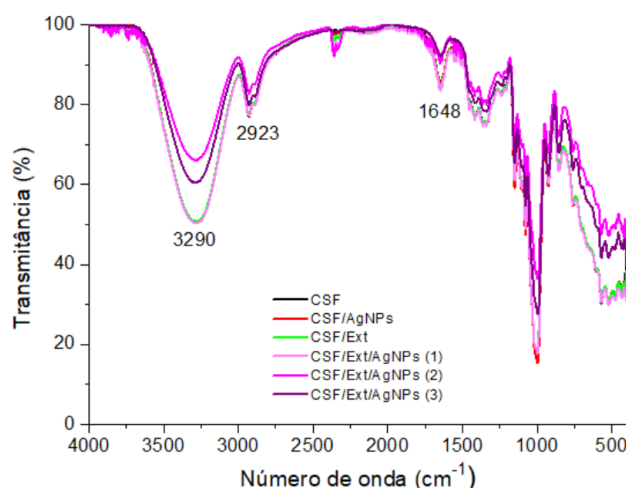


Figura 5 – Espectro FTIR-ATR dos filmes produzidos.

Conclusões

Foram desenvolvidos filmes de amido de milho homogêneos, livres de bolhas e rachaduras, contendo AgNPs, os quais foram produzidos através da ação redutora do extrato de folhas de *Alternanthera brasiliana* L (Kunze). O método é simples, econômico e ecológico, eliminando a necessidade de solventes ou reagentes químicos tóxicos. Com o aumento da concentração de AgNPs foi observado um aumento da opacidade dos filmes. Além disso, as alterações das intensidades das bandas no infravermelho médio sugerem que houve um rearranjo estrutural das cadeias de amido devido a incorporação das nanopartículas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro propiciado pelo CNPq, FINEP, CAPES, FAPERGS e PROPESQ-UFRGS. V.E. e C.D. agradecem o apoio financeiro e institucional recebido pela Universidade La Paz (CDE, Paraguay).

Referências

- [1] ARRUDA, T.R.; MACHADO, G.D.O.; MARQUES, C.S.; SOUZA, A.L.D.; PELISSARI, F.M.; OLIVEIRA, T.V.D.; SILVA, R.R.A. An Overview of Starch-Based Materials for Sustainable Food Packaging: Recent Advances, Limitations, and Perspectives. *Macromol*, v. 5, p. 9, 2025.
- [2] RAHMADI PUTRI, T.; ADHITASARI, A.; PARAMITA, V.; ENDY YULIANTO, M.; DWI ARIYANTO, H. Effect of different starch on the characteristics of edible film as functional packaging in fresh meat or meat products: A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 87(2), p. 192-199, 2023.
- [3] SILVEIRA H., POLYANNA; ÁVILA, S.; APEA-BAH, F. B.; LIU, JUNYA; LOPES TEIXEIRA, G.; HOFFMANN RIBANI, R.; BETA, T. Sustainable Use of *Ilex paraguariensis* Waste in Improving Biodegradable Corn Starch Films' Mechanical, Thermal and Bioactive Properties. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 28, p. 1696–1709, 2020.
- [4] KARNWAL, A.; RAUF, A.; JASSIM, A. Y.; SELVARAJ, M.; SAID AL-TAWAHA, A. R. M.; KASHYAP, P.; KUMAR, D.; MALIK, T. Advanced starch-based films for food packaging: Innovations in sustainability and functional properties. *Food Chemistry: X*, v. 29, p. 102662, 2025.



- [5] KUMAR, RAJ; G.L, GARGI; GOYAL, M. Development and characterization of corn starch-based nanocomposite film with AgNPs and plant extract. *Materials Science for Energy Technologies*, v. 3, p. 672-678, 2020.
- [6] EKER, F.; AKDAŞCI, E.; DUMAN, H.; BECHELANY, M.; KARAV, S. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Plant Extracts: A Comprehensive Review of Physicochemical Properties and Multifunctional Applications. *Int. J. Mol. Sci.* v. 26, p. 6222, 2025.
- [7] TRACZ, V.; CRUZ-SILVA, C.T.A.; LUZ, M. Z. Produção de mudas de penicilina (*Alternanthera brasiliana* (L.) Kuntze) via estaquia. *Rev. Bras. Pl. Med.*, v.16(3), p. 644-648, 2014.
- [8] PONSANTI, K.; TANGNORAWICH, B.; NGERNYUANG, N.; PECHYEN, C. A flower shape-green synthesis and characterization of silver nanoparticles (AgNPs) with different starch as a reducing agent. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9(5), p. 11003-11012, 2020.