

Produção de filmes ativos biodegradáveis aditivados com extratos vegetais de plantas com propriedades antioxidantes

Isabela Maria da Silva¹, Railson Alves da Silva¹, Carolina de Lima França¹, Ivo Diego de Lima Silva¹,
Rebeca Ferreira Lemos Vasconcelos¹

¹Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA

Histórico do Artigo: Submetido em: 04/01/2024 – Revisado em: 30/03/2024 – Aceito em: 11/04/2024

RESUMO

As embalagens ativas são sistemas de acondicionamento produzidos para interagir com os alimentos e proporcionar o aumento do seu tempo de prateleira, acarretando benefícios para os consumidores e produtores. Entre os tipos de embalagens ativas, estão, os sistemas liberadores de agentes com propriedades antimicrobianas e antioxidantes. Os agentes ativos mais utilizados são conservantes de origem sintéticas, entretanto, essas substâncias podem ocasionar danos à saúde do consumidor, assim surgindo novas pesquisas para a substituição por compostos de origem natural, que são considerados mais seguros. Para tal fim, tem-se estudado a aplicação de extratos vegetais para a incorporação em embalagens. Os filmes poliméricos foram produzidos utilizando a matriz polimérica de amido de mandioca (AM) incorporando o extrato vegetal de canela (EC) pela técnica solution casting. O extrato etanólico de EC foi caracterizado pelas técnicas antioxidantes de captura de radicais livres (DPPH) e pela redução da molécula do fosfomolibdênio (CAT). As propriedades dos filmes foram analisadas por meio do ensaio de transparência, microscopia ótica e atividade antioxidante. Os extratos apresentaram resultados satisfatórios para os dois métodos de atividade antioxidante aplicadas. Os filmes visualmente apresentaram boas características, entretanto, a adição de EC provocou mudanças na sua coloração. Para a microscopia ótica foi notado boa dispersão e superfície lisa para os filmes de AM – 0% EC e AM 3% EC, entretanto, para a formulação AM- 5% EC foi encontrado uma superfície mais rugosa. Para a transparência foi encontrado resultados promissores para a formulação AM – 3% EC. Em relação a atividade antioxidante dos filmes, foi observado para as duas formulações resultados satisfatórios, contudo, a maior concentração de EC apresentou valores mais intensos de eficiência. Por fim, é possível inferir que os filmes aditivados com extrato vegetal de cajueiro apresentam potencialidade para aplicação como embalagem ativas antioxidante.

Palavras-Chaves: Embalagens ativas, agentes antimicrobianos, antioxidantes, filmes poliméricos, amido de mandioca, extrato vegetal de canela, atividade antioxidante.

Production of biodegradable active films added with plant extracts from plants with antioxidant properties: Literature Review

ABSTRACT

As active packaging is a system of packaging designed to interact with food and extend its shelf life, providing benefits for both consumers and producers. Among the types of active packaging are systems that release agents with antimicrobial and antioxidant properties. The most commonly used active agents are synthetic preservatives; however, these substances may pose health risks to consumers, leading to new research for their replacement with natural compounds, considered safer. To achieve this, the application of plant extracts for incorporation into packaging has been studied. Polymeric films were produced using the polymeric matrix of cassava starch (CS), incorporating cinnamon plant extract (CE) through the solution casting technique. The ethanolic extract of CE was characterized using antioxidant techniques such as free radical scavenging (DPPH) and the reduction of the molybdenum molecule (CAT). The film properties were analyzed through transparency testing, optical microscopy, and antioxidant activity. The extracts showed satisfactory results for both applied antioxidant activity methods. Visually, the films exhibited good characteristics; however, the addition of CE caused changes in their coloration. Optical microscopy revealed good dispersion and a smooth surface for CS films with 0% CE and 3% CE, while the formulation with 5% CE exhibited a rougher surface. Transparency testing showed promising results for the 3% CE formulation. Regarding the antioxidant activity of the films, both formulations demonstrated satisfactory results, with the higher concentration of CE showing more intense efficiency. In conclusion, films with added cashew plant extract demonstrate potential for application as active antioxidant packaging.

Keywords: Active packaging, antimicrobial agents, antioxidants, polymeric films, cassava starch, cinnamon plant extract, antioxidant activity.

Da Silva et al. Produção de filmes ativos biodegradáveis aditivados com extratos vegetais de plantas com propriedades antioxidantes. *Revista Universitária Brasileira*. 2024;2(1):82 – 92.



1. Introdução

As embalagens convencionais foram originalmente produzidas para desempenhar a função de uma barreira protetora contra o ambiente externo, buscando uma interação mínima com os alimentos contidos (Khaneghah et al., 2018). No entanto, essas características não atendem mais às expectativas dos consumidores contemporâneos, que demonstram uma crescente preocupação e exigência por produtos que sejam ecologicamente responsáveis, saudáveis, refinados e que garantam uma segurança alimentar ampliada (Bhargava et al., 2020). Ao longo do tempo, tem-se percebido a necessidade de novos materiais capazes de prolongar a durabilidade dos alimentos (Khaneghah et al., 2018; Bhargava et al., 2020). Como resultado, surgiram novos conceitos no campo das embalagens, destacando-se as chamadas embalagens ativas.

Diferentemente das embalagens convencionais, as embalagens ativas estabelecem interações intencionais com os alimentos, visando prevenir sua degradação. Essas interações incluem a modificação da atmosfera do produto embalado e a liberação controlada de agentes ativos, tais como antimicrobianos e antioxidantes (Bhargava et al., 2020; Silva et al., 2021).

Um dos principais fatores que contribuem para a deterioração dos alimentos é a ação de micro-organismos patógenos e/ou a presença de radicais livres, que desencadeiam processos de oxidação. As embalagens ativas, com propriedades antimicrobianas e antioxidantes, demonstram um elevado potencial para estender o tempo de prateleira de alimentos perecíveis. Além disso, oferecem a possibilidade de reduzir a necessidade de adição direta de conservantes aos produtos, uma prática que, muitas vezes, compromete a qualidade dos alimentos e a saúde dos consumidores (Moraes et al., 2007).

Atualmente, a busca por aditivos ativos atóxicos, de preferência de origem natural, tem sido uma prioridade visando aprimorar a segurança alimentar (Muriel-Galet et al., 2012; Stratakos et al., 2014). Os extratos vegetais são geralmente reconhecidos como seguros para uso em alimentos (Codevilla et al., 2015). No entanto, para sua aplicação eficaz, é crucial considerar propriedades funcionais, eficácia, custo, disponibilidade e possíveis alterações organolépticas nos alimentos (Codevilla et al., 2015; Perumalla e Hettiarachchy, 2011). As propriedades funcionais dos extratos resultam da presença de diversos compostos químicos em sua composição, tais como quinonas, flavonóis, alcalóides, lectinas, polifenóis, carotenoides e flavonoides (Codevilla et al., 2015; Perumalla e Hettiarachchy, 2011). Portanto, tem-se o extrato de canela (*Cinnamomum*) como um promissor agente antimicrobiano e antioxidante.

A canela, pertencente à família Lauraceae, é reconhecida como uma especiaria comum dotada de marcante atividade antimicrobiana e antioxidante. Além de suas propriedades sensoriais apreciadas, a canela apresenta atividades biológicas notáveis, como antitumoral, antifúngica, citotóxica e antimutagênica. A eficácia dessas propriedades é atribuída principalmente ao cinamaldeído, um componente-chave da canela. Além disso, a capacidade do extrato de canela em retardar a oxidação lipídica é associada à habilidade de seus constituintes fenólicos em neutralizar espécies reativas de oxigênio (Sobral e Bonilla, 2016).

No âmbito das inovações tecnológicas em embalagens, destacam-se os polímeros biodegradáveis, suscetíveis à degradação por ação microbiológica após o descarte, decompondo-se ao longo de semanas ou meses. Essa característica evita a acumulação desses materiais no ambiente, constituindo uma alternativa promissora em comparação aos polímeros convencionais de origem petroquímica, geralmente desafiadores de degradar e capazes de persistir na natureza por vários anos (Franchetti e Marconato, 2006).

Diante desse desafio, surgem estudos que visam substituir os polímeros não biodegradáveis por alternativas biodegradáveis, sem comprometer as propriedades mecânicas, térmicas e de processamento das embalagens (Brito et al., 2011). Entre essas alternativas, destaca-se o filme de amido, que demonstra um notável potencial. O amido, sendo uma matériaprima renovável de abundância significativa na natureza, apresenta baixo custo e excelente capacidade de formação de filmes (Nogueira, Fakhouri e Oliveira, 2018).

Dado o exposto, o presente trabalho pretende desenvolver um novo filme polimérico de amido incorporado com extrato vegetal para aplicação em embalagens ativas com propriedades antioxidantes.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

A fécula da espécie *Manihot esculenta* (conhecida como mandioca, macaxeira, aipim, entre outros) para a produção dos filmes foi obtida comercialmente, adquirida da marca Carrefour Mercado. O pó de canela foi obtido da marca Sol dos Andes.

2.2. Preparação do extrato vegetal de canela

A obtenção dos compostos da canela foi realizada por meio da técnica de extração soxhlet. Inicialmente, aproximadamente 20,000g, do pó do material vegetal foi pesado e colocado em um cartucho confeccionados com papel de filtro de 24 cm de diâmetro, o qual foi então inserido na câmara do soxhlet. Em seguida, 200 mL de etanol PA foi adicionado a um balão de fundo redondo com capacidade de 250 mL. Após a montagem do sistema, a manta foi aquecida até atingir a temperatura de ebulição do etanol, aguardando-se a condensação da primeira gota do solvente sobre o cartucho com o material vegetal para marcar o início do tempo de extração (4 horas). O extrato vegetal resultante foi armazenado sob refrigeração.

2.3. Atividade antioxidante do extrato vegetal de canela

3.3.1. Capacidade antioxidante total (CAT)

A determinação da capacidade antioxidante total (CAT) do extrato de canela seguiu o método de redução da molécula de fosfomolibdênio, conforme a metodologia proposta por Nibir et al. (2017). Nos ensaios, foram adicionadas alíquotas de 0,3 mL do extrato vegetal do extrato vegetal, com concentração de 200 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ em etanol, a tubos de ensaio, juntamente com 3 mL de uma solução reagente composta por ácido sulfúrico (0,6 mol.L⁻¹), fosfato de sódio (28 mmol L⁻¹) e molibdato de amônio (4 mmol.L⁻¹). Para o controle (branco), 0,3 mL de etanol PA substituiu a alíquota de extrato vegetal, enquanto, como reagente padrão, utilizou-se uma solução aquosa de ácido ascórbico (200 $\mu\text{g.mL}^{-1}$). Os tubos de ensaio foram fechados e mantidos em banho térmico a 95°C por 90 minutos. Após o resfriamento, a leitura das absorbâncias (Abs.) foi realizada em espectrofotômetro UV/Vis a 695 nm. Todas as amostras foram analisadas em triplicata, e a capacidade antioxidante foi expressa como Atividade Antioxidante Relativa (AAR) em relação aos padrões, conforme a Equação 1.

$$AAR (\%) = \frac{(Abs. amostra - Abs. branco)}{(Abs. padrão - Abs. branco)} \times 100$$

3.3.2. Atividade antioxidante pelo método captura de radicais livres (DPPH)

A avaliação da atividade antioxidante foi conduzida conforme a metodologia adaptada de Brand-Williams (1995). Inicialmente, preparou-se uma solução etanólica do extrato vegetal com uma concentração de 1000 µg mL⁻¹. Em seguida, pesou-se 2,5 mg de DPPH, adicionando a um balão volumétrico de 100 mL contendo etanol PA até atingir o menisco.

Posteriormente, 3,9 mL da solução de DPPH foram introduzidos em tubos de ensaio cobertos com papel alumínio, seguidos por 0,1 mL da solução do extrato vegetal. O sistema foi mantido em repouso por 30 minutos, protegido da luz. As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro UV/VIS no comprimento de onda de 515 nm. Os ensaios foram conduzidos em triplicata, sendo que, para o controle, 0,1 mL de etanol foi adicionado em substituição ao extrato vegetal. A porcentagem de inibição foi calculada utilizando a equação 2.

$$Eficiência (\%) = \frac{Abs. controle - Abs amostra}{Abs. controle} \times 100$$

2.4. Preparação dos filmes poliméricos

Os filmes de amido (AM), tanto puros quanto incorporados com extrato vegetal de canela (EC), foram produzidos pela técnica de evaporação do solvente (solution casting), utilizando uma massa total de biopolímero de 3,000g. O extrato vegetal foi adicionado aos filmes em proporções de 3% e 5% (m/m) em relação à massa total da mistura polimérica. Inicialmente, a massa correspondente ao amido foi pesada, seguida do peso do glicerol na proporção de 30% (m/m) em relação à massa total dos biopolímeros.

A mistura foi então colocada em um béquer e agitada (agitador mecânico a 1000 rpm) em banho termostático a 90°C por 10 minutos. Para os filmes com extrato vegetal de canela, uma etapa adicional foi realizada. Após a agitação da mistura, foi adicionada a quantidade correspondente do extrato e a solução foi agitada por mais 1 minuto. Em seguida, o material foi adicionado ao banho ultrassônico por 10 minutos para a retirada de bolhas na solução. A solução filmogênica foi transferida para um recipiente metálico com revestimento de Teflon (diâmetro 13 cm). Em seguida, o recipiente foi colocado em uma estufa com circulação forçada de ar a 45 °C por 24 horas, para permitir a evaporação da água destilada e a formação do filme.

2.5. Caracterização dos filmes poliméricos

2.5.1. Microscopia ótica (MO)

A microscopia ótica dos filmes poliméricos foi realizada usando um microscópio da marca Leica modelo DM500. 3.5.2. Análise de transparência O teste de transparência dos filmes, tanto do amido puro quanto do amido aditivado com o extrato vegetal de canela, foi conduzido por meio de um espectrofotômetro UV/VIS, seguindo uma adaptação da metodologia de Han e Floros (1997). Inicialmente, as amostras foram recortadas em triplicata, com dimensões de 0,9 x 3,0 cm.

As medidas de espessura dos filmes recortados foram registradas, seguidas pela inserção nas cubetas de quartzo para as leituras de transmitância no comprimento de onda de 600 nm. A leitura da cubeta vazia foi realizada como branco. A transparência foi então determinada utilizando a Equação 3.

$$Transparência = \frac{\log T}{x}$$

Em que T é a transmitância (%) no comprimento de onda de 600 nm; x é a espessura dos filmes (mm).

3.5.3. Atividade antioxidante dos filmes

As amostras dos filmes poliméricos, foram recortadas e pesadas em aproximadamente 500 mg, em seguida, foram submersas em 12 mL de água destilada e inseridas em um banho termostático a 50 °C por 30 minutos. Após esse intervalo, as amostras foram filtradas e o líquido resultante foi analisado quanto à capacidade antioxidante total e à atividade antioxidante, utilizando o método de captura de radicais livres (DPPH). Os procedimentos para essas análises estão detalhados nas subseções 3.3.1 e 3.3.2, respectivamente.

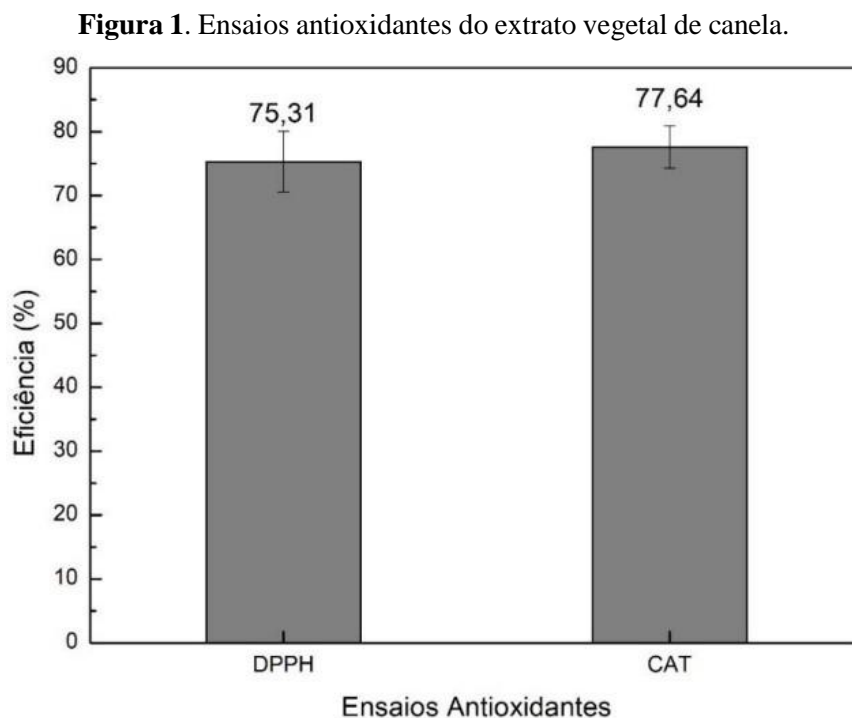
3.5.4. Análise estatística

Os dados das propriedades de transparência dos filmes foram realizados por meio de análise de variância (ANOVA) no software Statistica, versão 10. O teste de Duncan foi utilizado para determinar as diferenças a um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do extrato de canela

A Figura 1 apresenta os ensaios antioxidantes para o extrato vegetal de canela pelos métodos de captura de radicais livres da molécula de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil e pelo método de redução da molécula de fosfomolibdênio.



Fonte: O autor (2024)

O teste de inibição de radicais do DPPH fundamenta-se na transferência de elétrons de uma substância antioxidante para uma oxidante. Isso ocorre quando os agentes antioxidantes fornecem um hidrogênio à molécula de DPPH, capturando seu radical livre (Tiveron, 2010).

Para o ensaio de DPPH foi observado uma eficiência média de 75,31% para o extrato vegetal de canela. No estudo de Udayaprakash et al. (2015) foi encontrado uma eficiência de 77,78% para a concentração de 50 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ do extrato metanólico (1:10 m/v) da espécie *Cinnamomum iners Reinw. ex*

Blume (canela selvagem). Os autores atestaram uma promissora potencialidade antioxidante para o extrato vegetal. Comparando o estudo de Udayaprakash et al. (2015) com o presente estudo, foi observado valores de eficiência similares, entretanto, a concentração utilizada foi 4 vezes maior, em relação aos autores.

A avaliação da capacidade antioxidante total, utilizando o método do fosfomolibdênio, fundamenta-se na conversão do molibdênio VI para V na presença de determinadas substâncias antioxidantes, uma vez que ocorre a redução da molécula, obtém-se como resultado, a formação de um complexo de cor verde (PRIETO et al. 1999).

Para a CAT foi observado uma eficiência média de 77,64% quando comparado com o reagente padrão (Ácido Ascórbico – 200 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$). Na literatura não foi encontrado nenhum estudo utilizando metodologia CAT similar, para efeito de comparação, para o extrato vegetal de canela. Negri, Possamai e Nakashima (2009) demonstraram a atividade antioxidante do extrato vegetal da planta *Maytenus ilicifolia* Mart. (espinheira-santa) utilizando o método de redução do molibdênio. Os autores observaram uma capacidade antioxidante total (CAT) de 30%, evidenciando o potencial antioxidante deste extrato vegetal. Os valores obtidos nesse presente estudo são superiores aos obtidos pelo autores.

As variações na composição dos extratos vegetais resultam da presença de metabolitos secundários, uma vez que os princípios ativos da planta são produzidos como parte de um mecanismo de defesa vegetal em resposta a condições de estresse fisiológico (como a falta de nutrientes e água), fatores ambientais (como o clima) e necessidade de proteção contra predadores ou micro-organismos patogênicos (Oetting, 2005).

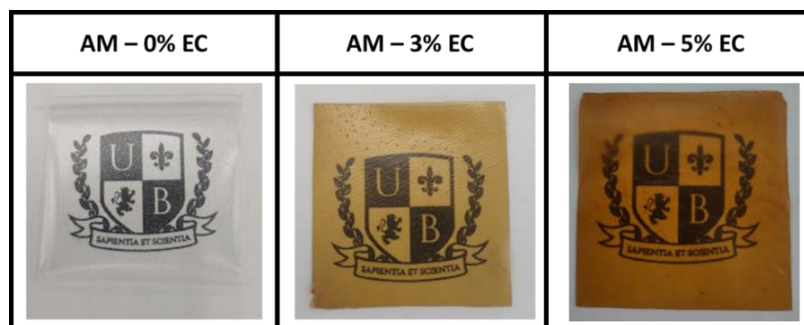
Além disso, outros fatores, como o tipo e/ou a polaridade do solvente extrator, método de extração e variação nas partes da planta escolhidas para a extração, podem influenciar na concentração dos compostos químicos presentes nos extratos vegetais. Com base nessas considerações, é possível concluir que essas modificações influenciam nas atividades antioxidantes obtidas.

3.2. Caracterização dos filmes poliméricos

3.2.1. Aspectos visuais dos filmes poliméricos

Os filmes biopoliméricos de amido de mandioca puro e incorporado com os extrato vegetais de canela nas concentrações de 3 e 5% (m/m) foi posicionado em cima da imagem (Figura 2) impressa do brasão da universidade, com a finalidade de perceber a transparência do filme e suas características visuais.

Figura 2. Aspectos visuais dos filmes de amido de mandioca puro e aditivado com EC.



Fonte: O autor (2024)

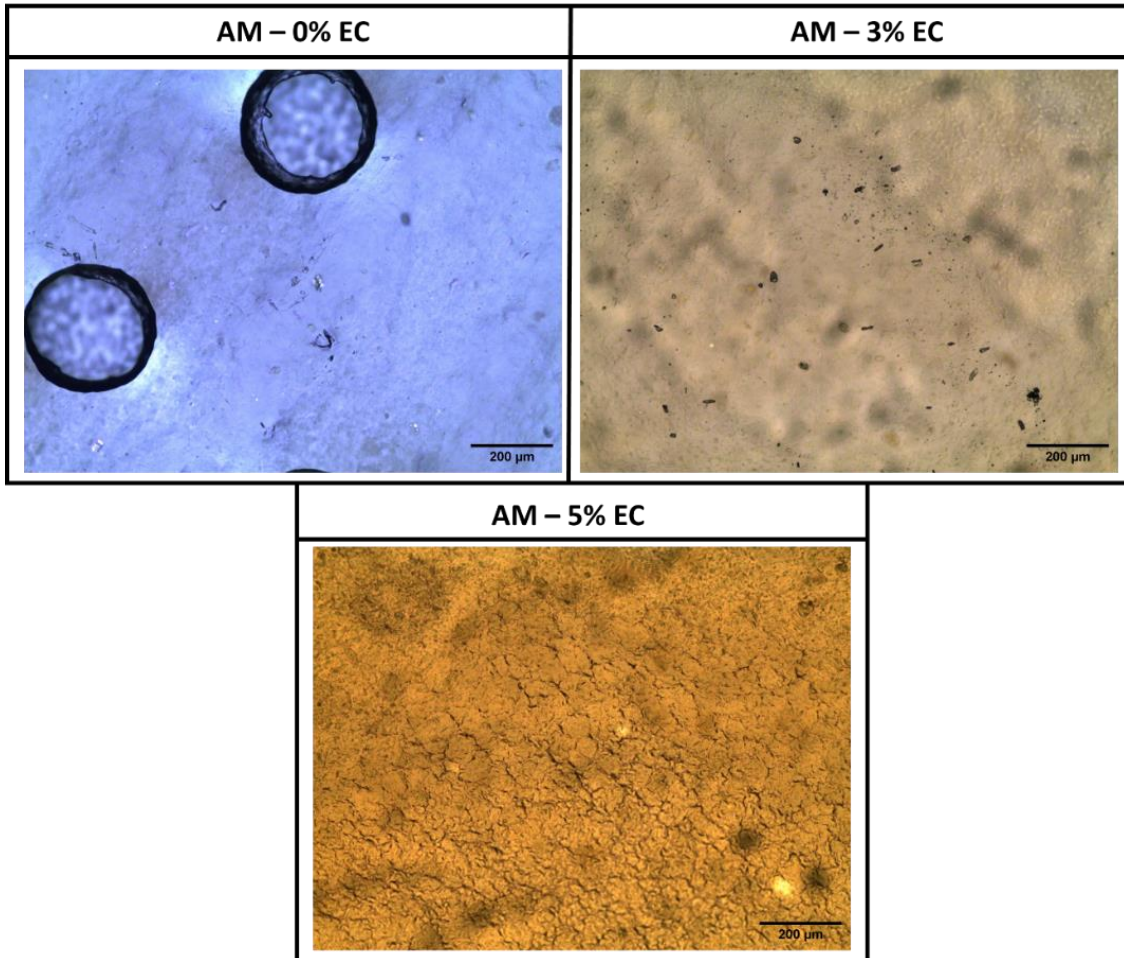
A partir da observação da Figura 2, é possível notar que os filmes que contêm o extrato EC exibem diferenças visuais notáveis nas colorações quando comparados ao filme de PVA puro. Além disso, foi observado que o aumento na concentração dos aditivos na matriz polimérica resulta em um aumento na tonalidade de cor característica do extrato de canela.

Os filmes poliméricos obtidos, independentemente da concentração e do tipo de extrato vegetal utilizado, demonstraram visualmente boa homogeneidade, superfície lisa, boa maleabilidade e ausência de fraturas. Apesar da alteração na coloração, os filmes mantiveram transparência visual em todas as formulações.

3.2.2 Microscopia ótica dos filmes poliméricos (MO)

A Figura 3 apresenta as micrografias (aumento de 10x) dos filmes poliméricos de amido de mandioca obtidos nesse presente estudo.

Figura 3. Micrografias dos filmes poliméricos de AM puro e aditivado com EC.



Fonte: O autor (2024)

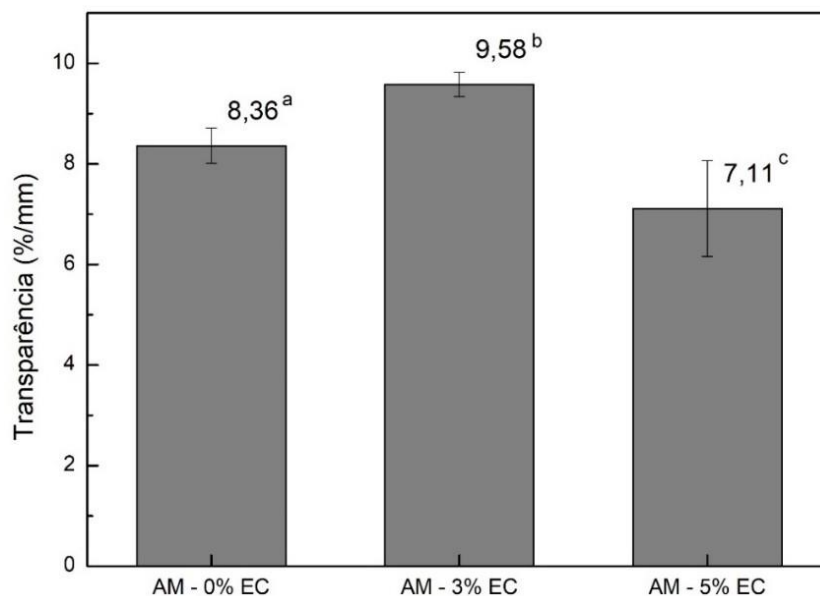
A partir das micrografias é possível perceber que os filmes de amido puro apresentaram superfícies mais lisas e homogêneas quando comparados aos filmes de AM incorporados com o extrato EC. Além disso, é possível observar que os filmes puros apresentaram a presença de bolhas, possivelmente formadas no processo de homogeneização da solução filmogênica, uma vez que os filmes foram produzidos pela técnica *solution casting*.

Para os filmes incorporados com 5% do extrato vegetal de canela (AM – 5% EC) foi notado a presença de uma superfície mais rugosa, indicando uma possível alteração na estrutura polimérica ocasionada pela presença de uma maior concentração do extrato de canela.

3.2.3 Análise de transparência dos filmes poliméricos

Os resultados de transparência dos filmes de AM puro e aqueles incorporados com 3% e 5% (m/m) do extrato de EC são mostrados na Figura 4. Para avaliar se ocorreram alterações significativas na transparência dos filmes com o aumento da concentração, foi empregado o teste estatístico de Duncan, com um intervalo de confiança de 95%.

Figura 4. Análise de transparência dos filmes poliméricos de AM puro e incorporados com extrato vegetal de canela.



Médias seguidas de **letras iguais** não diferem significativamente ($p > 0,05$) pelo teste de Duncan.

Fonte: O autor (2024)

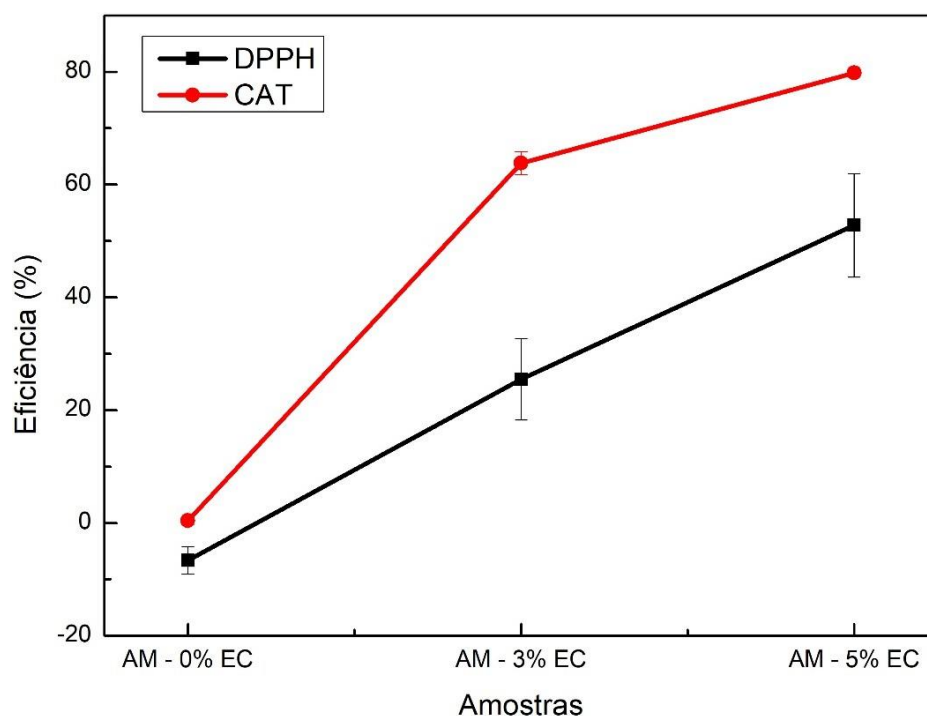
Por meio dos resultados obtidos é possível constatar um aumento significativo da transparência dos filmes poliméricos na concentração de 3% (m/m) do extrato de canela. Entretanto, para os filmes de formulação AM – 5% EC foi observado um comportamento diferente, uma vez que ocorreu o decréscimo significativo da transparência.

De acordo com Lin et al. (2020) a transparência é afetada pela microestrutura interna e pela distribuição dos componentes na matriz polimérica. Portanto, sugere-se que o aumento do índice de transparência na formulação AM – 3% EC esteja possivelmente relacionada à eficiente dispersão dos extratos vegetais entre as estruturas do amido, como também uma provável diminuição das regiões cristalinas das cadeias do AM.

A propriedade de transparência é uma característica desejada em filmes destinados a embalagens, pois é vantajoso que o consumidor consiga visualizar o produto embalado (EL ACHABY et al., 2017; LIN et al., 2020).

3.2.4 Ensaios antioxidantes dos filmes poliméricos

Os ensaios antioxidantes pelos métodos CAT e DPPH dos filmes de amido de mandioca puro e incorporados com extrato vegetal de canela nas concentrações de 3 e 5% (m/m) estão apresentados na Figura 5.

Figura 5. Ensaios antioxidantes dos filmes poliméricos de AM puro e incorporados com extrato vegetal de cajueiro.

Fonte: O autor (2024)

Os resultados demonstram que os filmes de AM puro não apresentam atividade antioxidante, independente do tipo de ensaio aplicado nesse presente estudo. Entretanto, para os filmes aditivados com o extrato vegetal de canela, é possível verificar a ação antioxidante para as duas metodologias. Para os filmes de formulação AM – 3% EC foi possível observar valores de 25,46 e 63,79% para os métodos de DPPH e CAT, respectivamente. Os filmes com formulação AM – 5% EC apresentaram os maiores índices de ação antioxidante, 52,78 e 79,81% para os ensaios de DPPH e CAT.

Portanto, é possível inferir que os filmes com maior concentração do extrato vegetal apresentaram maior potencialidade para aplicação como embalagens ativas com função antioxidante.

4. Conclusão

Por meio dos resultados da presente pesquisa conclui-se que o extrato vegetal de canela apresentou potencialidade para aplicação como agente ativo antioxidante, uma vez obteve-se valores satisfatórios para as duas metodologias aplicadas, pela captura de radicais livres (DPPH) e por redução da molécula do fosfomolibdênio (CAT).

Os filmes visualmente apresentaram boas propriedades, entretanto, para a concentração de 5%, pela microscopia ótica, foi observado porosidade na superfície dos filmes que pode implicar nas propriedades mecânicas.

Os valores para a transparência foram mais promissores para a concentração de 3%. Em relação a atividade antioxidante dos filmes foram observadas potencialidades antioxidantes para as duas concentrações, contudo a formulação contendo 5% apontou maiores índices. Por fim, os filmes incorporados ao extrato de EC apresentaram excelentes resultados e são propícios para aplicação em embalagens ativas.

Agradecimentos

Agradecemos a Unibra e ao Laboratório de Petroquímica, assim como aos professores Prof.^a Ma. Rebeca Ferreira Lemos Vasconcelos e Prof. Dr. Ivo Diego de Lima Silva.

REFERÊNCIAS

- BHARGAVA, N.; SHARANAGAT, V. S.; MOR, R.; KUMAR, K. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: a review. **Trends in Food Science & Technology**, [S.L.], v. 105, p. 385-401, nov. 2020.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **LWT - Food Science and Technology**, v. 28, p. 25–30, 1995.
- BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, vol. 6.2, p.127-139, 2011.
- CODEVILLA, C. F.; BAZANA, M. T.; SILVA, C. B.; BARIN, J. S.; MENEZES, C. R. Nanoestruturas contendo compostos bioativos extraídos de plantas. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, p. 142–151, 2015.
- EL ACHABY, M.; MIRI, EL MIRI, N.; ABOULKAS, A.; ZAHOUILY, M.; BILAL, E.; BARAKAT, A.; SOLHY, A. Processing and properties of eco-friendly bio- nanocomposite films filled with cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 96, p. 340-352, mar. 2017.
- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, [s.l.], v. 29, n. 4, p.811-816, jul. 2006.
- HAN, J. H.; FLOROS, J. D. Casting Antimicrobial Packaging Films and Measuring Their Physical Properties and Antimicrobial Activity. **Journal of Plastic Film & Sheeting**, v. 13, n. 4, p. 287–298, 1997.
- KHANEGHAH, A. M.; HASHEMI, S. M. B.; LIMBO, S. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: an overview of approaches and interactions. **Food and Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 111, p. 1-19, set. 2018.
- LIN, D.; ZHENG, Y.; WANG, X.; HUANG, Y.; NI, L.; CHEN, X.; WU, Z.; HUANG, C.; YI, Q.; LI, J. Study on physicochemical properties, antioxidant and antimicrobial activity of okara soluble dietary fiber/sodium carboxymethyl cellulose/thyme essential oil active edible composite films incorporated with pectin. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 165, p. 1241-1249, dez. 2020.
- MORAES, A. R. F.; GOUVEIA, L. E. R.; SOARES, N. F. F.; SANTOS, M. M. S.; GONÇALVES, M. P. J. C. Desenvolvimento e avaliação de filme antimicrobiano na conservação de manteiga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p.33-36, ago. 2007.
- MURIEL-GALET, V.; CRAN, M. J.; BIGGER, S. W.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; GAVARA, R. Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components. **Journal Of Food Engineering**, [s.l.], v. 149, p.9-16, mar. 2015.

NEGRI, M. L. S.; POSSAMAI, J. C.; NAKASHIMA, T. Atividade antioxidante das folhas de espinheira-santa - *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reiss., secas em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [s. I], v. 19, n. 2, p.553-556, jun. 2009.

NIBIR, Y. M.; SUMIT, A. F.; AKHAND, A. A.; AHSAN, N.; HOSSAIN, M. S. Comparative assessment of total polyphenols, antioxidant and antimicrobial activity of different tea varieties of Bangladesh. **Asian Pacific Journal Of Tropical Biomedicine**, [s.l.], v. 7, n. 4, p.352-357, abr. 2017.

NOGUEIRA, G. F.; FAKHOURI, F. M.; OLIVEIRA, R. A. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 186, p.64-72, abr. 2018.

OETTING, L. L. **Extratos vegetais como promotores do crescimento de leitões recém-desmamados**. 2005. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Animal e Pastagens, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PERUMALLA, A. V. S.; HETTIARACHCHY, N. S. Green tea and grape seed extracts - Potential applications in food safety and quality. **Food Research International**, v. 44, n. 4, p. 827–839, 2011.

PRIETO, P., PINEDA, M., AGUILAR, M., Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E1. **Analytical Biochemistry**, v. 269, p. 337-341, 1999.

SILVA, I. D. L.; MORAES FILHO, L. E. P. T.; CAETANO, V. F.; ANDRADE, M. F.; HALLWASS, F.; BRITO, A. M. S. S.; VINHAS, G. M. Development of antioxidant active PVA films with plant extract of *Caesalpinia ferrea* Martius. **Lwt**, [S.L.], v. 144, p. 111215, jun. 2021.

SOBRAL, P. J. A.; BONILLA, J. Investigation of the physicochemical, antimicrobial and antioxidant properties of gelatin-chitosan edible film mixed with plant ethanolic extracts. **Food Bioscience**, v. 16, p. 17-25, 2016.

STRATAKOS, A. C.; DELGADO-PANDO, G.; LINTON, M.; PATTERSON M.; KOIDIS, A. Synergism between high-pressure processing and active packaging against *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat chicken breast. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [s.l.], v. 27, p.41- 47, fev. 2015.

TIVERON, A. P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no Brasil**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

UDAYAPRAKASH, N. K.; RANJITHKUMAR M.; DEEPA, S., SRIPRIYA N., ABDULLA A. AL-ARFAJ, A. A.; BHUVANESWARI S. Antioxidant, free radical scavenging and GC–MS composition of *Cinnamomum iners* Reinw. ex Blume. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 175-179, 2015.