

PRODUÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL A PARTIR DA RECICLAGEM DO ÓLEO DE COZINHA RESIDUAL: UMA EXPERIÊNCIA SUSTENTÁVEL

Raphaela S. de Castro¹; Fabrício R. Pinheiro¹, Michelle M. Rocha¹, Alex G. Ruivo¹, Antônio L. Modesto¹, Matheus L. Costa¹, Thayssa V. Abreu¹, Josiel L. Ferreira¹, Gyselle dos S. Conceição², Davi S. Brasil¹

¹Universidade Federal do Pará - Faculdade de Engenharia Química, R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

²Universidade Federal do Pará - Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Palavras-Chave: Bioplástico; Óleo vegetal; Análises de qualidade

Introdução

O óleo de soja é amplamente consumido pela população mundial, sendo especialmente utilizado no preparo e fritura de alimentos. Quando submetido a altas temperaturas, o óleo sofre alterações químicas e físicas significativas, resultantes de reações de degradação dos triglicerídeos, como a oxidação, a formação de hidroperóxidos e a liberação de ácidos graxos livres, muitos deles oxidados. Esses processos elevam os índices de acidez e peróxidos, prejudicando sua qualidade e tornando-o inadequado para o consumo (Gonçalves, 2018). Além disso, essas modificações aceleram a rancificação e a diminuição do valor nutricional e sensorial do óleo.

Após o uso, o descarte inadequado do óleo residual é um problema ambiental relevante. O despejo direto em ralos e esgotos provoca o entupimento de tubulações, aumenta a pressão em redes de esgoto e contribui para a poluição hídrica. Quando o óleo atinge rios e lagos, forma uma barreira superficial que dificulta a troca de gases entre a água e a atmosfera, comprometendo o ecossistema aquático e resultando na morte de peixes e outros organismos (Dantas et al., 2020). A partir desse cenário, tem crescido o interesse por práticas de reutilização sustentável de resíduos, fomentando a produção de bioprodutos, como sabões ecológicos, biodiesel, e embalagens biodegradáveis (Zucatto, Welle, Silva, 2013).

Assim como o óleo residual, o amido de mandioca também tem se destacado como uma matéria-prima promissora na fabricação de produtos biodegradáveis, como bioplásticos. Os filmes produzidos com amido possuem a vantagem de se degradarem em um tempo consideravelmente menor do que os plásticos convencionais derivados de petróleo, além de serem materiais versáteis, adequados para moldagem e termoformagem em diversos formatos, como sacolas. Esses bioplásticos encontram aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, onde sua biodegradabilidade e segurança são diferenciais importantes (Gomes, 2022).

De acordo com a RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, os amidos são definidos como "produtos amiláceos extraídos de partes comestíveis de cereais, tubérculos, raízes ou rizomas" (BRASIL, 2005). O amido extraído da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um polímero composto por amilose e amilopectina, duas frações de homopolissacarídeos formadas exclusivamente por α -D-glicose. A adição de plastificantes, como glicerol, melhora as propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis, tornando-os mais flexíveis e resistentes, atributos desejáveis para seu uso em embalagens e outros produtos (Gomes, 2022; Poloni; Dos Santos, 2020).

Diante da necessidade de promover a sensibilização ambiental e reduzir os impactos causados pelo descarte inadequado de resíduos, este trabalho visa desenvolver filmes biodegradáveis à base de amido de mandioca e óleo residual de fritura, com a adição de aditivos. A proposta é avaliar suas propriedades mecânicas e explorar seu potencial como uma alternativa sustentável para embalagens biodegradáveis.

Material e Métodos

Formulação dos Filmes Biodegradáveis

Para a obtenção dos filmes biodegradáveis, foram realizados três ensaios distintos, com todas as amostras preparadas em triplicata, conforme descrito na Tabela 1. As formulações variaram quanto à presença e ao tipo de óleo residual de fritura adicionado.

Tabela 1 - Composição das amostras para obtenção dos filmes biodegradáveis

Amostras	Composição
1	Amido + H ₂ O + Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃)
2	Amido + H ₂ O + Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃) + Óleo residual filtrado
3	Amido + H ₂ O + Glicerol (C ₃ H ₈ O ₃) + Óleo residual bruto

Fonte: Autores, 2024

Análise Mecânica de Tração

As propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis foram avaliadas por meio de ensaios de tração, seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma ASTM D882-02. Os corpos de prova, cortados no formato retangular com dimensões padrão, foram submetidos a ensaios de tração utilizando uma máquina universal de ensaios equipada com célula de carga apropriada. As amostras foram fixadas nas garras da máquina, e a força foi aplicada até a ruptura dos filmes. Os parâmetros obtidos incluíram o módulo de elasticidade, a resistência máxima à tração e o alongamento na ruptura. Esses ensaios foram realizados no Laboratório de Biossoluções da Amazônia (LABA) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Opacidade

A opacidade dos filmes foi determinada conforme a metodologia descrita por Lucena et al. (2017), utilizando um espectrofotômetro UV-Visível de feixe simples. As amostras foram cortadas em dimensões adequadas e posicionadas no compartimento de amostra do espectrofotômetro, sendo realizadas leituras no intervalo de comprimento de onda entre 500 e 600 nm. A opacidade foi calculada a partir da absorbância dos filmes, sendo esta inversamente proporcional à transparência do material. Filmes mais opacos apresentaram maior absorção de luz, enquanto filmes mais transparentes apresentaram menor absorção.

Análise Termogravimétrica (TG) e Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

Para caracterizar a estabilidade térmica e as transições térmicas dos filmes biodegradáveis, foram realizadas análises termogravimétricas (TG) e de calorimetria diferencial exploratória (DSC). As análises foram conduzidas utilizando um equipamento da marca Hitachi, sob atmosfera de nitrogênio para prevenir oxidação. A temperatura foi programada para variar desde a temperatura ambiente até 700 °C, com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A análise TG permitiu observar a perda de massa dos filmes em função da temperatura, indicando os estágios de decomposição térmica. Já a DSC foi utilizada para

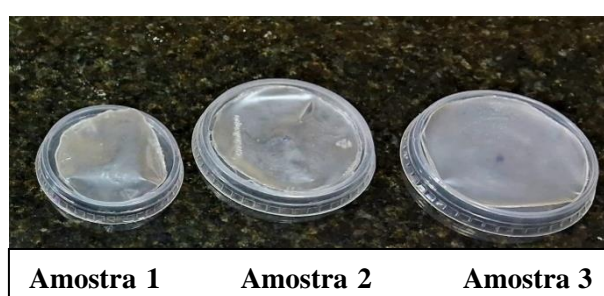
identificar as transições endotérmicas e exotérmicas, como fusão e degradação, fornecendo informações sobre o comportamento térmico e a estabilidade dos filmes.

Resultados e Discussão

Formulação dos Filmes Biodegradáveis

Após a formulação dos filmes (Figura 1), foi possível observar que a incorporação de óleos residuais, tanto filtrado quanto bruto, não alterou significativamente o aspecto visual dos bioplásticos quando comparados à formulação sem óleo. Isso sugere que a adição de gordura residual não impactou a homogeneidade visual ou a aparência superficial dos filmes, o que é uma característica importante para o desenvolvimento de bioplásticos em diversas aplicações industriais.

Figura 1 - Obtenção dos filmes biodegradáveis

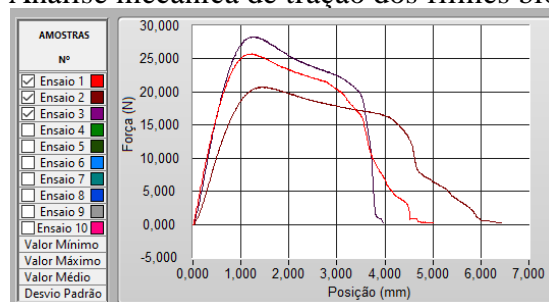


Fonte: Autores, 2024

Análise Mecânica de Tração

A análise de tração dos filmes biodegradáveis revelou diferenças significativas nas propriedades mecânicas entre as amostras com e sem a adição de óleo residual, conforme ilustrado na Figura 2 e detalhado na Tabela 2.

Figura 2 – Análise mecânica de tração dos filmes biodegradáveis



Fonte: Autores, 2024

Tabela 2 – Valores médios de tensão na ruptura do material

Amostras	Tensão (MPa)	Deformação (%)
Óleo residual filtrado	1,7177	12,540
Óleo residual bruto	1,3839	16,059
Sem óleo residual	1,8916	9,912

Fonte: Autores, 2024

Segundo Cruz (2018), a relação entre tensão e deformação é um indicativo da resistência do material: materiais mais resistentes possuem alta tensão e baixa deformação. De acordo com os resultados, o filme sem óleo residual apresentou maior resistência à tração (1,8916 MPa) e menor deformação (9,912%) em comparação aos filmes que continham óleo. Isso indica que,

ao adicionar óleo residual, especialmente o óleo bruto, ocorre uma redução na matriz amilácea do filme, diminuindo a capacidade de resistência à carga antes da ruptura.

A menor resistência apresentada pelos filmes com óleo pode ser explicada pela presença de fases líquidas oleosas que atuam como pontos de fragilidade na estrutura polimérica, comprometendo sua integridade mecânica. Além disso, o óleo bruto, contendo impurezas e componentes não filtrados, parece ter causado uma redução ainda maior na resistência mecânica, o que é consistente com os resultados apresentados para o óleo filtrado (1,7177 MPa) e o óleo bruto (1,3839 MPa).

Opacidade

As medidas de transmitância apresentadas na Tabela 3 indicam que a presença de óleo residual influencia diretamente as propriedades ópticas dos filmes biodegradáveis.

Tabela 3 – Transmitâncias dos biofilmes incorporados com óleo nas faixas de 200nm e 550nm

Filmes	Transmitância (%)	
	200nm	550nm
C/ óleo bruto	6,4	65,9
C/óleo filtrado	21,4	26,4

Fonte: Autores, 2024

No comprimento de onda ultravioleta (200 nm), os filmes com óleo bruto foram mais eficientes na opacidade, bloqueando aproximadamente 93,6% da luz UV. Em contrapartida, o filme com óleo filtrado permitiu a passagem de uma quantidade maior de luz UV (21,4%), sendo menos opaco.

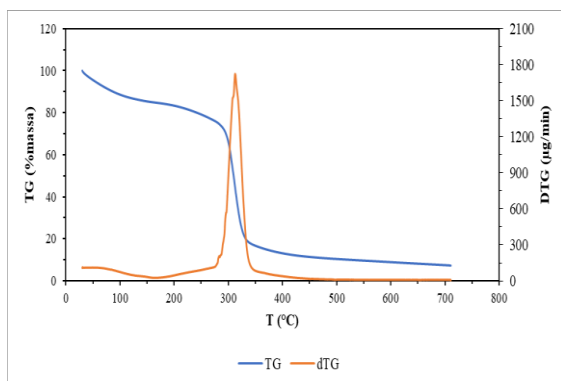
Essa diferença pode ser atribuída à presença de pigmentos e impurezas no óleo bruto, que aumentam a dispersão da luz e reduzem sua transmitância, enquanto o processo de filtração com argila clarificante removeu muitos desses componentes, tornando o óleo mais transparente e, conseqüentemente, permitindo maior passagem de luz. O comportamento inverso foi observado no espectro visível (550 nm), onde o filme com óleo bruto apresentou uma transmitância maior (65,9%), enquanto o filme com óleo filtrado foi significativamente mais opaco (26,4%).

A retenção de pigmentos e outras partículas no óleo filtrado pode estar diretamente associada à ação adsorvente da argila clarificante, conforme descrito por Patrício, Hotza e De Noni Júnior (2014). Essas partículas, quando removidas, aumentam a transparência do filme, o que justifica a maior transmitância na faixa UV para o filme filtrado, mas uma opacidade mais elevada na faixa do visível.

Análise Termogravimétrica (TG) e Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

As análises termogravimétricas (TG) e calorimétricas (DSC) revelaram o comportamento térmico típico dos filmes à base de amido e óleo residual, conforme ilustrado nas Figuras 3 a 6.

Figura 3 – Termografia e derivada do filme biodegradável com óleo residual filtrado



Fonte: Autores, 2024

Figura 4 – Calorimetria diferencial exploratória do filme biodegradável com óleo residual filtrado

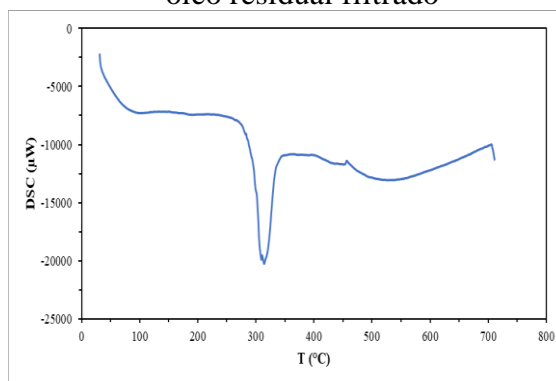
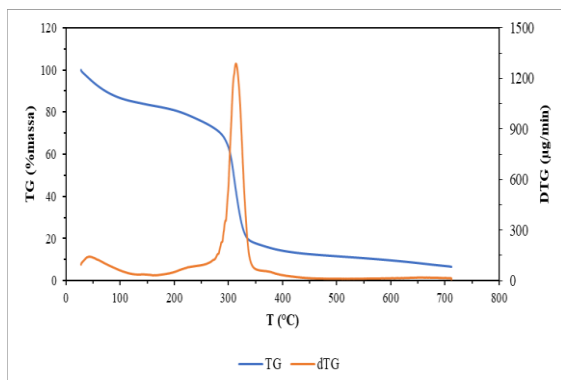
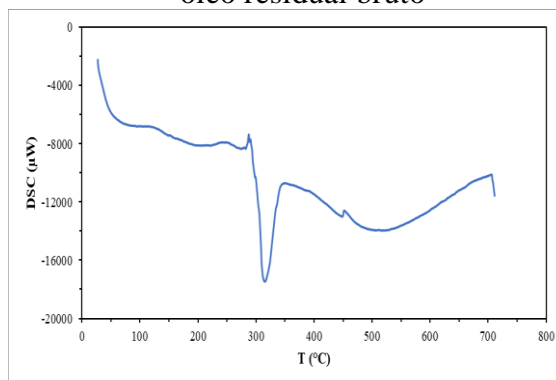


Figura 5 – Termografia e derivada do filme biodegradável com óleo residual bruto



Fonte: Autores, 2024

Figura 6 – Calorimetria diferencial exploratória do filme biodegradável com óleo residual bruto



Na análise de TG, foi identificada uma primeira perda de massa em temperaturas entre 45 °C e 170 °C, atribuída à evaporação de água e à volatilização de pequenos componentes presentes no filme, como resíduos de solventes ou glicerol, corroborando com as observações de Do Rego (2020).

O segundo evento térmico, observado pelas curvas TG e DTG, foi registrado em temperaturas superiores a 300 °C, indicando a decomposição térmica dos polissacarídeos presentes na matriz de amido. Este evento está diretamente relacionado à degradação das cadeias poliméricas de amilose e amilopectina, que constituem a estrutura base dos filmes biodegradáveis, conforme descrito por Petry (2023).

Nas curvas de DSC, observa-se um pico endotérmico acentuado acima de 300 °C, correspondente à fusão e degradação das moléculas de amido, similar ao reportado por Ramos Junior (2023). Esse comportamento térmico consistente entre as amostras com e sem óleo sugere que a adição de óleo residual, filtrado ou bruto, não altera de forma significativa as propriedades térmicas dos filmes, uma vez que as principais transições térmicas são governadas pela matriz de amido.

Conclusões

A produção de filmes biodegradáveis a partir da reciclagem de óleo de cozinha residual apresenta uma solução inovadora e ambientalmente responsável para mitigar o impacto

negativo dos resíduos gerados pela indústria alimentícia. O uso de amido de mandioca, óleo residual de fritura e aditivos na formulação desses filmes reflete uma abordagem alinhada aos princípios da economia circular, promovendo a valorização de recursos renováveis e recicláveis.

Os resultados das análises mecânicas mostraram que a presença de óleo residual influencia diretamente as propriedades físicas dos filmes, como resistência à tração e deformação, destacando a importância de ajustar cuidadosamente a composição para obter características otimizadas. A análise termogravimétrica forneceu informações sobre a estabilidade térmica dos filmes, revelando a viabilidade desses materiais em aplicações que envolvam variações significativas de temperatura.

Além disso, a análise de transmitância UV demonstrou que a incorporação do óleo residual, especialmente na sua forma filtrada, afeta as propriedades ópticas dos filmes. Enquanto o óleo bruto aumentou a opacidade, impedindo a passagem de luz ultravioleta, o óleo filtrado promoveu uma maior transmitância, tornando o material mais transparente em certas faixas de comprimento de onda.

Em síntese, este estudo não apenas avança o conhecimento científico e tecnológico na área de materiais biodegradáveis, mas também reforça o papel essencial da reciclagem e do reaproveitamento de resíduos na busca por soluções mais sustentáveis. A pesquisa contribui para a sensibilização sobre práticas que minimizam os impactos ambientais e promovem o desenvolvimento de novos materiais que favorecem a construção de um futuro mais sustentável e equilibrado, em consonância com os desafios globais de preservação ambiental e redução de resíduos.

Agradecimentos

Agradeço à equipe presente e a Pró-Reitoria de Extensão (PROEX) por todo o apoio com o trabalho.

Referências

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Aprova o regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de set. de 2005.
- CRUZ, I. C. R. Influência da variação de grãos de amido de arroz, mandioca e milho nas propriedades físicas, mecânicas e de fotodegradação em amido termoplástico. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Programa de PósGraduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará, Belém. 2018.
- DANTAS, Fernanda Raquel et al. Aproveitamento de óleos vegetais residuais no contexto da educação ambiental – uma revisão. Anais do V CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/72899>>. Acesso em: 21/03/2024 12:58.
- DO REGO, José de Arimateia Rodrigues et al. Characterization and evaluation of filmogenic, polymeric, and biofilm suspension properties of cassava starch base (*Manihot esculenta* Crantz) Plasticized with Polyols. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 50417-50442, 2020.
- GOMES, Maria Letícia de Sousa. Filmes biodegradáveis de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): uma revisão. 2022. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.
- GONÇALVES, Rhayanna Priscila Gonçalves. Avaliação de óleo e gordura vegetal de soja submetidos a ciclos de fritura através de espectroscopia molecular e quimiometria. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.
- Lima, B. N., Cabral, T. B., C Neto, R. P., Tavares, M. I. B., & Pierucci, A. P. T. (2012). Characterization of commercial edible starch flours. *Polímeros*, 22, 486-490.



LUCENA, C. A. A., COSTA, S. C., ELEAMEN, G. R. A., MENDONÇA, E. A. M. & OLIVEIRA, E. E. (2017). Desenvolvimento De Biofilme À Base De Xilana E Xilana/Gelatina Para Produção De Embalagens Biodegradáveis. Associação Brasileira de Polímeros. 27. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2223>.

PATRÍCIO, J. S., HORTZA, D., DE NONI JÚNIOR, A. (2014). Argilas adsorventes aplicadas à clarificação de óleos vegetais. Cerâmica. v.60. 171-178. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132014000200002>.

PETRY, Jaiane Maiara. Efeito da concentração de plastificante em revestimentos comestíveis à base de blendas de poli (álcool vinílico) (PVA) e amido catiônico (CS). 2023. 56 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2023.

POLONI, C. A., DOS SANTOS, P. P. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido de mandioca. In: 9º JEPEX e 3º Mostra Cultural. 2020.

RAMOS JÚNIOR, G. S. D. S. (2023). Obtenção e caracterização de amido termoplástico: um estudo da sua termodegradação e fotodegradação após exposição à radiação Ultravioleta. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará. Ananindeua. 2023

ZUCATTO, L. C.; WELLE, I.; SILVA, T. N. Cadeia reversa do óleo de cozinha: coordenação, estrutura e aspectos relacionais. ERA – Revista de Administração de Empresas. v. 53, n. 5, p. 442-453. São Paulo, out. 2013.