

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MORFOLÓGICAS DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE TANINO/PVA

LINCOLN AUDREW CORDEIRO¹; MARLON BENDER BUENO RODRIGUES²;
NATHALIA VIEIRA VILLAR DE NUNES³; LUCAS FERREIRA DO NASCIMENTO⁴;
AMANDA DANTAS DE OLIVEIRA⁵; ANDRÉ LUIZ MISSIO⁶

¹Universidade Federal de Pelotas– lincolnaudrewcordeiro.lac@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – marlon.bender@ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – nathaliannunes@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – lucasferreiranascimento@ufpel.edu.br

⁵Universidade Federal de Pelotas – amandaoliveira82@gmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas– andre.missio@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

As embalagens convencionais a partir de plástico, tem sido usado em larga escala, devido as suas propriedades de resistências físico-químicas únicas para que os bens de consumo sejam protegidos contra danos físicos, contaminação e deterioração. Mas, tais características resultam num maior impacto ambiental por meio do descarte inadequado desses tipos de resíduos que podem permanecer no meio ambiente durante décadas ou até mesmo séculos (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2022). Desta forma, o desenvolvimento de embalagens *eco-friendly* são algumas das soluções que resultam numa condição sustentável, o que abre destaque para os filmes alternativos a base de tanino, como também os compostos por álcool polivinílico (PVA).

Os taninos são macromoléculas polifenólicas que geralmente são classificados em taninos hidrolisáveis (formados a partir do ácido gálico ou elágico) ou condensáveis (formado por unidades de flavonoides), sendo encontrados em diferentes estruturas das plantas (WASTOWSKI, 2018). Tratando-se de embalagens, o uso deste recurso já é visto em pesquisas associadas no desenvolvimento de embalagens verdes (MISSIO et al., 2018; ZHAI et al., 2018). Esses polifenóis conferem capacidade antioxidante e antimicrobiana como também melhoram as propriedades mecânicas e de barreira de materiais biodegradáveis (VERA et al., 2023). Por outro lado, há os filmes de PVA, que é um polímero solúvel em água, não tóxico, biocompatível, biodegradável, com propriedades mecânicas e térmicas aceitáveis, sendo adequado para projetar embalagens ativas sustentáveis (ZHAI et al., 2018).

Assim, o objetivo deste estudo consistiu em produzir filmes de PVA incorporando tanino hidrolisável e condensado, avaliando as propriedades mecânicas e morfológicas dos materiais, com intuito de compreender o grau de interação entre esses compostos e encontrar características que sejam relevantes no desenvolvimento de novas embalagens verdes.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se Álcool Polivinílico P.S. em pó (PVA) e Glicerina P.A ACS foram adquiridos comercialmente da Dinâmica Ltda. Tanino Hidrolisável (TH) e Tanino Condensável (TC), respectivamente oriundos das espécies florestais Tara e Acácia

Negra (*Acacia mearnsii*), foram gentilmente disponibilizados pelo Laboratório de Polímeros e Materiais Lignocelulósicos (LabPMat-UFPEl).

Posteriormente foi feita a preparação dos filmes adaptando a metodologia de CHOLANT (2021), utilizando a técnica *casting*. Desta forma, 0,168 g de PVA foi misturado com 0,13 ml (0,168 g) de glicerina entre 10 a 20 ml de água destilada a fim de produzir o filme de PVA. Os outros filmes, foram previamente produzidos com a solução de PVA e glicerina, sendo adicionado 0,01 g de tanino condensado com o intuito de produzir os filmes intitulado PVATC e 0,01 g de tanino hidrolisável para os filmes nomeados como PVATH. Depois, as soluções produzidas foram submetidas sob agitação magnética e aquecidas numa temperatura variando de 50 a 70° C. Essas soluções foram vertidas em formas redondas de silicone e colocados em estufa até a completa secagem. Os filmes foram desmoldados e guardados para análises de tensão mecânica e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A avaliação da morfologia dos filmes e a espessura foram caracterizadas por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo SSX 550 Supersean – Shimadzu Scientific Instruments, por elétrons secundários (SEI), com magnificação de 50 a 100x. As propriedades mecânicas dos filmes produzidos foram determinadas através do texturômetro, TX-700 da Lamy Rheology. Pequenas tiras cortadas dos filmes produzidos, mensurou-se a largura e o comprimento das mesmas e aplicado uma carga de tração uniaxial numa velocidade de operação de 0,2 mm/s. Os resultados obtidos por MEV e texturômetro para determinação de tensão (σ) - deformação (ϵ) e módulo de elasticidade (E) foram calculados e plotados usando software Origin 2018, versão 95E.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filmes produzidos em PVA, PVATH e PVATC foram avaliados quanto suas características mecânicas através da curva tensão-deformação (FIGURA 1A) e módulo de elasticidade (FIGURA 1B). Esta curva permite identificar as propriedades mecânicas dos materiais, sendo crucial para elaboração de um projeto e/ou produto e seleção de materiais. O processo de deformação em que a tensão e deformação são proporcionais é chamado de deformação elástica, e a inclinação deste segmento linear corresponde ao módulo de elasticidade, sendo que quanto maior o módulo, mais rígido ou maior a resistência do material a deformação elástica (CALLISTER JUNIOR; RETHWISCH, 2012).

Desta forma, na Figura 1 é possível identificar que o comportamento mecânico do PVA é mais rígido, sendo seu módulo de elasticidade (E) em torno de 1,6 e 4 vezes maior do que o PVATH e PVATC, respectivamente.

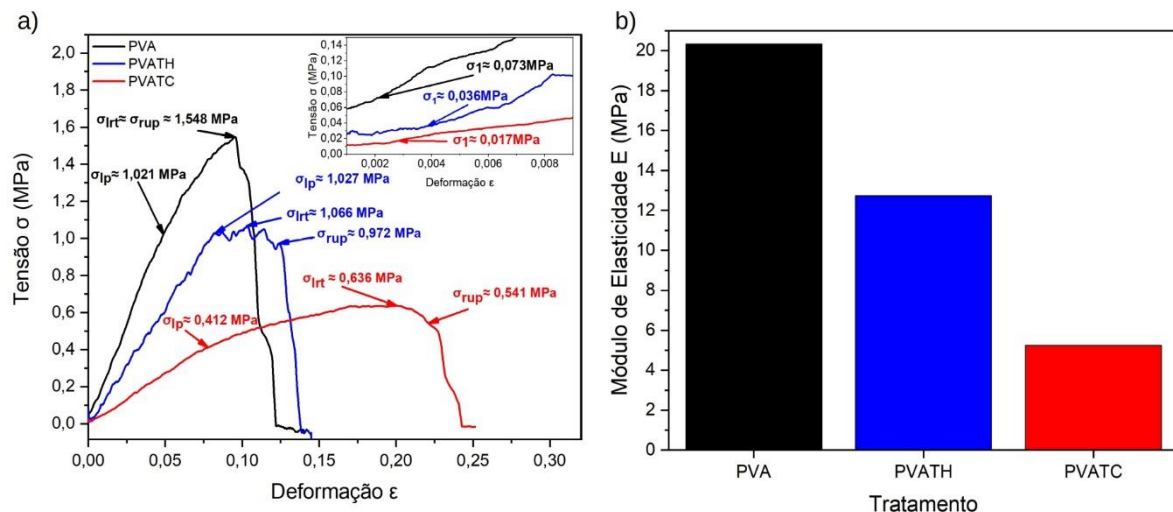


Figura 1 – Propriedades mecânicas dos filmes produzidos.

Legenda: a) gráfico tensão-deformação; b) módulo de elasticidade. σ_{Lrt} : Tensão de Limite de Ruptura, σ_{Ip} : Tensão de Limite Proporcional, σ_{rup} : Tensão de Ruptura, σ_1 : Tensão de Início Proporcional, E: Módulo de Elasticidade.

ZHAI et al. (2018) relatam que as moléculas de PVA são polímeros lineares, que podem facilmente se organizar em agregados, e quando é adicionado uma pequena quantidade de tanino condensado, a estrutura do PVA é alterada resultando na diminuição da resistência da membrana. LIAO et al. (2022) explicam que após adicionar tanino condensado em PVA há uma diminuição da resistência a tensão, o que pode ter acontecido por uma possível redução das regiões cristalinas no PVA pela a adição do tanino. Tais características podem ser o motivo do PVATC ter assumido um comportamento similar ao desenvolvido por ZHAI et al. (2018) e LIAO et al. (2022), o que resultou numa diminuição do E, σ_{Lrt} , σ_{rup} , σ_{Ip} , aumentando a característica plasticidade do filme, resultado da alta reatividade do tanino condensado com PVA.

Para filmes de PVATH, apresentou um módulo de elasticidade de cerca de 2,4 vezes superior ao PVATC. Fazendo uma analogia com PIZZI (2008), onde explica a falta de estrutura macromolecular e a baixa nucleofilicidade e reatividade do tanino hidrolisável na substituição de fenol na fabricação de resinas de fenol-formaldeído, isso pode ser um dos casos explicados pela menor interação do PVA com o tanino hidrolisável de Tara, o que resultou em maior módulo de elasticidade do PVATH em comparação ao PVATC.

A morfologia superficial dos filmes de PVA, PVATH e PVATC é demonstrado na Figura 2.

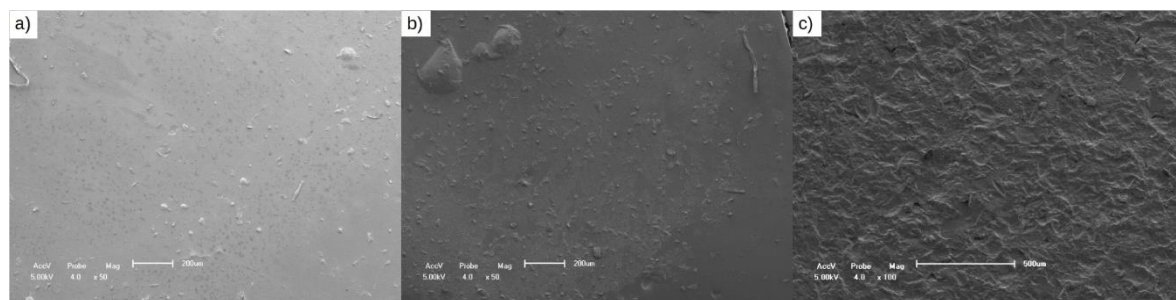


Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura dos Filmes Produzidos.

Legenda: a) PVA, b) PVATH e c) PVATC.

Na Figura 2A e 2B, sendo PVA e PVATH, respectivamente, é possível observar que o filme de PVATH obteve características morfológicas muito próximas do PVA, neste caso especificado pela rugosidade superficial. Por outro lado, percebesse que a presença de tanino condensado no filme de PVATC (FIGURA 2C) em comparação ao PVATH e PVA, resultou numa superfície mais áspera.

Isso ratifica o resultado apresentado anteriormente, onde a baixa nucleofilidade e reatividade do tanino hidrolisável com o PVA, permite que o comportamento do filme assuma características morfológicas mais parecidas com o PVA do que com o PVATC.

4. CONCLUSÕES

A formação de filmes através da adição de tanino condensado em PVA possibilitou mudanças nos aspectos físicos e morfológicos em virtude da alta reatividade que esse composto tem com as cadeias poliméricas lineares como também com as regiões cristalinas do PVA, assumindo um comportamento mais plástico o que pode ser útil para o desenvolvimento de novas embalagens mais seguras e verdes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CHOLANT, G. M. **Filmes de álcool polivinílico reforçado com nanocelulose proveniente da casca de arroz**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Pelotas.

LIAO, J. et al. Assisted compatibility, and balanced regulation of the mechanical, thermal, and antioxidant activity of polyvinyl alcohol-chinese bayberry tannin extract films using different di-aldehydes as cross-linkers. **Journal of Renewable Materials**. Henderson, v.10, n.2, p.359–372, 2022.

MISSIO, A. L. et al. Nanocellulose-tannin films: From trees to sustainable active packaging. **Journal of Cleaner Production**. Amsterdam, v.184, p. 143–151, 2018.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Global Plastics Outlook**. Paris, 22 fev. 2022. Online. Acessado em: 20 set. 2023. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/de747aef-en/index.html?itemId=/content/publication/de747aef-en>

PIZZI, A. Tannins: Major sources, properties and applications. In: BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. (Ed.). **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Chennai: Elsevier Ltd, 2008. Cap.8, p.179-199.

VERA, M. et al. Trends in Food Science & Technology Recent advances in tannin-containing food biopackaging. **Trends in Food Science & Technology**. Cambridge, v.133, p.28–36, 2023.

WASTOWSKI, A. D. **Química da Madeira**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2018.

ZHAI, Y. et al. Preparation and characterization of antioxidative and UV-protective larch bark tannin/PVA composite membranes. **Molecules**. Basel, v.23, n.8, p.2073, 2018.