

ÁGUA DA DEGOMAGEM DA EXTRAÇÃO DE SERICINA DE CASULO DE *BOMBYX MORI*: DO LIXO AO USO

Leticia Marini Gomes^(1*); Alessandra Machado Baron⁽¹⁾ ; Samuel Camilo da Silva⁽²⁾; Naiara Pereira Lima⁽³⁾; Patricia Salomão Garcia⁽¹⁾

⁽¹⁾ UTFPR – Campus Apucarana; Rua Marcílio Dias, 635, Apucarana, PR;
*mgleticia63@gmail.com;

⁽²⁾ UEL – Rod. Celso Garcia Cid, s/n; Londrina; PR

⁽³⁾ UFPR – Rua XV de Novembro, 1299; Curitiba; PR.

Resumo

O reaproveitamento de resíduos para a produção de materiais biodegradáveis com valor agregado está alinhado com as questões de desenvolvimento sustentável que domina o mercado da moda/têxtil. Este trabalho teve como objetivo apresentar os resultados das propriedades mecânicas e estruturais de filmes plásticos biodegradáveis produzidos a partir de blendas de amido de mandioca e álcool polivinílico (PVOH) (3:2), com o reaproveitamento de um efluente da indústria têxtil (água de degomagem da fibroína – proteína da seda). Filmes de amido de mandioca (AM) e álcool polivinílico (PVOH) plastificados com glicerol (20% v/m em relação ao amido) e compatibilizados com glicol em concentrações de (2% e 4% v/m de polímeros AM e PVOH), foram produzidos por casting (95°C; 2h; secagem: 40°C; 16h) e caracterizados quanto à aparência, espessura e propriedades mecânicas. O filme com menor concentração de glicol apresentou maior resistência e rigidez, com uma perda significativa na flexibilidade em comparação ao controle. As caracterizações mecânicas indicam uma melhor interação, possivelmente devido à formação de ligações cruzadas por hemiacetalização, sugerindo boa compatibilidade entre as fases poliméricas.

Palavras-chave: Reuso; Casulo de *B. Mori*; Biodegradável.

Área Temática: Sustentabilidade.

1. Introdução

O casulo do bicho da seda (*Bombyx mori*) é composto principalmente por sericina e fibroína (MONTANHA, 2012), duas proteínas que têm aplicação como biomaterial. As excelentes propriedades mecânicas da fibroína de seda fornecem inúmeras aplicações para biomateriais à base de seda. A sericina tem múltiplas funções biológicas, incluindo excelente hidrofiliabilidade, promovendo a fixação de células inspirando o uso destes biomateriais em aplicações biomédicas, por exemplo (FENG WANG et al., 2021). Basicamente, os filamentos de fibroína estão aglomerados tendo a sericina como uma espécie de ‘cola’.

O processo industrial de produção do fio de seda a partir do casulo do Bombyx Mori (bicho-da-seda) envolve várias etapas. Os efluentes gerados na indústria da seda são ricos em sericina, devido ao processo de degomagem da fibroína dos casulos, que quando feita sem o

uso de produtos químicos, gera uma água residual composta basicamente de sericina (AGUIAR, 2011 apud CAPAR et al., 2008).

A compatibilização entre polímeros com propriedades químicas semelhantes, como o AM e o PVOH, ambos hidrofílicos, tem como objetivo fortalecer a interação interfacial e/ou promover a formação de ligações cruzadas na blenda polimérica, resultando em melhorias nas propriedades do material final obtido. O glicolal, um aldeído de cadeia curta (C_2 - HOC-COH), atua como agente reticulante ao promover ligações covalentes cruzadas via reações de hemiacetalização.

A escolha de um agente reticulante pertencente ao grupo aldeído é motivada pela capacidade dos oligopeptídeos e/ou proteínas de menor tamanho com grupos amino (NH), presentes na água de degomagem da fibroína, de reagirem de forma mais eficaz através de adição nucleofílica do que com ácidos carboxílicos em reações de substituição acíclica, conforme já bem estudado por outros autores na temática de compatibilização de blendas de amido e poliéster. Em blendas de amido com poliésteres, os compatibilizantes mais comuns pertencem à família dos ácidos carboxílicos, conforme demonstrado por Garcia et al. (2011), Garcia et al. (2018) e Lima (2022).

O objetivo do presente trabalho é produzir e caracterizar filmes plásticos biodegradáveis produzidos por casting a partir de blendas de AM e PVOH plastificadas com glicerol e compatibilizadas com glicolal. Considerando que a técnica de casting envolve a formação de solução filmogênica à base de água destilada, para a solução filmogênica do presente trabalho foi utilizada a água obtida no processo de degomagem da fibroína (resíduo da indústria têxtil).

2. Metodologia

Para a produção dos filmes foi utilizado: amido de mandioca (AM) (mercado local, Apucarana, PR), álcool polivinílico (PVOH) (Realtec, Colombo, PR), glicerol ($C_3H_8O_3$ – 92,09 g mol⁻¹ - Dinâmica, Brasil) e glicolal ($C_2H_2O_2$ - 58,04 g mol⁻¹ – Sigma Aldrich, Brasil). A água utilizada na produção dos filmes, foi derivada do processo de degomagem da fibroína, obtida do trabalho de dissertação de mestrado de Lima (2022).

Os filmes foram produzidos segundo o método *casting*, empregando a água da degomagem da fibroína dos casulos do bicho-da-seda como solvente da solução filmogênica. Para a produção dos biofilmes foi utilizada uma mistura dos polímeros a seco, com uma proporção de 3:2 de AM:PVOH. O glicerol (plastificante), na concentração indicada na Tabela

1, foi adicionado à água residual da extração de sericina (degomagem de fibroína) e permaneceu em agitação em uma chapa magnética sem aquecimento. O compatibilizante foi adicionado em duas porcentagens (2% e 4% em relação ao total de polímeros, AM e PVOH), e após a adição do glioxal, os polímeros foram adicionados, com simultâneo início do aquecimento. Esse procedimento foi a base para todas as formulações apresentadas na Tabela 1. Com a adição de todos os componentes, a solução filmogênica foi aquecida até 95 ± 5 °C e mantida nessa temperatura por aproximadamente 2 horas. A solução filmogênica foi dispensada em placas de petri de polipropileno com diâmetro de 50mm e levadas para secagem em estufa com circulação de ar à 40 ± 5 °C por aproximadamente 16-18 horas. Após o tempo dos biofilmes na estufa, eles foram despregados das placas e armazenados em embalagens de papel Craft para posteriormente serem submetidos às caracterizações.

Tabela 1 - Composição das soluções filmogênica

Formulação	Amido:PVOH (%)	Glicerol (%)	Glioxal (%)
C	4	20	-
GLI2	4	20	2
GLI4	4	20	4

Fonte: Autoria Própria (2024).

Notas:

Amido:PVOH – 3:2 – g 100 g⁻¹ de mistura

Glicerol – g 100 g⁻¹ de amido

Glioxal – g 100g⁻¹ de polímeros (AM+PVOH)

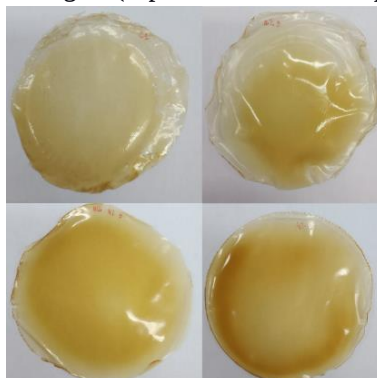
C- Controle (sem glioxal); GLI2- Filme com 2% de glioxal; GLI4- Filme com 4% de glioxal.

Os filmes foram caracterizados quanto à: 1) análise subjetiva (manuseabilidade, facilidade de desprendimento do suporte (ou aderência ao suporte), presença de bolhas e/ou rachaduras e/ou grumos, homogeneidade e pegajosidade, conforme níveis estabelecidos na Tabela 2; 2) Espessuras (micrômetro digital - μm) e 3) propriedades mecânicas (ASTM D882-02 (2002)).

3. Resultados e conclusão

De modo geral, os filmes exibiram boa homogeneidade, sem grumos ou rachaduras e sem pegajosidade, com exceção da formulação C (controle - sem compatibilizante), que apresentou dificuldade ao ser desprendida do suporte. A espessura média dos filmes variou de 222 à 341 μm . A Figura 1 apresenta imagens dos filmes após a retirada do suporte.

Figura 1 - Fotografia dos filmes após secagem (superior: C; inferior esquerdo: GLI2 e inferior direito: GLI4)



Fonte: (Autoria Própria, 2024).

A diferença de coloração observada nos filmes da foto da Figura 1 decorre da característica de coloração da água de degomagem da fibroína.

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de propriedades mecânicas dos filmes submetidos ao teste de tração.

Tabela 3 - Propriedades Mecânicas dos Filmes.

Formulação	σ (MPa)	ϵ (%)	E0 (MPa)
C	$4,91 \pm 0,4^b$	$36,58 \pm 14,3^b$	$64,88 \pm 12,0^b$
GLI2	$9,62 \pm 0,6^a$	$3,36 \pm 1,9^c$	$466,04 \pm 184,1^a$
GLI4	$6,54 \pm 1,3^b$	$92,18 \pm 8,6^a$	$65,48 \pm 19,2^b$

Fonte: Autoria Própria (2024).

Nota: σ (MPa): resistência à tração; ϵ (%): alongamento na ruptura e E0 (MPa): módulo de Young. Resultados expressos em (média $\pm$ desvio padrão). N = 4. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas no teste Tukey com nível de confiança em 95% ($p \leq 0,05$).

Para a variável de resistência à tração (σ - MPa), foi observado que apenas o filme GLI2 apresentou diferença significativa em relação às demais formulações, ou seja, SER e GLI4. A adição de 2% de glicol resultou em um aumento de 51% na resistência dos filmes em comparação com o filme sem o reticulante (SER). No entanto, quando a quantidade de glicol foi aumentada de 2% para 4%, os filmes se tornaram menos resistentes em relação ao GLI2, e não houve diferença estatística em relação ao controle (C). Esses resultados sugerem a existência de uma concentração ideal de glicol a ser utilizada em filmes de amido, PVOH e glicerol produzidos por casting, com água de degomagem da sericina como solvente. A presença de 4% de glicol pode ter levado à formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas (sericina-amido, sericina-sericina, amido-amido, amido-PVOH, PVOH-PVOH) via reação de hemiacetalização. O que não reticulou permaneceu livre e atuou como agente plastificante, o que justifica o maior valor de alongamento na ruptura da formulação GLI4

(Tabela 2). Além disso, a formulação GLI4 produziu filmes mais flexíveis e estatisticamente diferentes das demais formulações (SER e GLI2). O perfil de resistência à tração também se reflete no Módulo de Young, onde a formulação GLI2 resultou em filmes significativamente mais rígidos em comparação com as formulações SER e GLI4.

4. Referências

AGUIAR, Ivan Carlos da Silva. **Desenvolvimento e Caracterização de Biofilmes de Sericina Reticulados com Dimetiloluréia**. 2011. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Processos Químicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana.

FENG WANG, et al. Transgenic PDGF-BB/sericin hydrogel supports for cell proliferation and osteogenic differentiation. **Biomater. Sci.**, v. 9, p. 4212, 2021.

GARCIA, P. S.; BARON, A. M.; YAMASHITA, F.; MALI, S.; EIRAS, D.; GROSSMANN, M. V. E. Compatibilization of starch/poly(butylene adipate-co- terephthalate) blown films using itaconic acid and sodium hypophosphite. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 135, n. 33, 2018.

GARCIA, P. S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F.; MALI, S.; DALL'ANTONIA, L. H.; BARRETO, W. J. Citric Acid as Multifunctional agente in blowing films of starch/PBAT. **Química Nova**, v. 34, n. 9, p. 1507-1510, 2011.

LIMA, Nayara Pereira. **Compatibilização de Blendas Amido de Milho, Poliéster e Sericina**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2022.

MONTANHA, V. C.. Preparação e caracterização de micropartículas de colágeno ou fibroína como suporte para células-tronco. 2012. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

5. Agradecimentos

UTFPR - Apucarana; POLIBIOTEC - UEL.