

DESENVOLVIMENTO DE MEMBRANAS POLIMÉRICAS A PARTIR DE CASULO DE SEGUNDA CLASSE

Leonardo Davi Armacolo Giocondo (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Sirlei Marques Paschoal, Wardleison Martins Moreira (Coorientador), Marcelino Luiz Gimenes (Orientador).

E-mail: mlgimenes@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharias/Tecnologia Química

Palavras-chave: Biomateriais; Sustentabilidade; Separação.

RESUMO

A valorização de materiais biodegradáveis, como a seda, revela a sustentabilidade de sua aplicação em áreas diversas, como processos de separação com membranas, altamente explorados no setor industrial. No Estado do Paraná, a alta produção de seda abrange 85% do montante nacional, reflexo da importância da técnica de sericultura e das consequências da fiação industrial atrelada. Membranas poliméricas podem ser produzidas adicionando-se à sua composição as principais proteínas do fio: sericina e fibroína. A técnica de separação de fases induzida por não-solvente (SFN) foi escolhida para fabricar as membranas, devido ao amplo uso registrado e à facilidade de se manipular seus parâmetros de processo. O desempenho dos meios filtrantes nas práticas de permeabilidade utilizando água e óleo verificou sua eficácia e indicou sua possível aplicação. Concluiu-se que as membranas contendo 0,1% de sericina em sua composição obtiveram fluxo semelhante ao de membranas de osmose inversa, a separações iônicas e de pequenas moléculas orgânicas.

INTRODUÇÃO

A sericultura, atividade agroindustrial de produção da seda a partir do *Bombyx mori*, destaca-se no Paraná, responsável por mais de 85% da produção nacional e que, em 2022, movimentou 35,5 milhões de reais (PARANÁ, 2023). Apesar de apresentar características de economia circular, ainda gera impactos ambientais devido ao descarte inadequado de efluentes.

O fio de seda é formado principalmente por fibroína (75–83%), responsável pela resistência mecânica, e por sericina, proteína adesiva que garante a coesão da fibra (BIGANEH et al., 2022). Ambas apresentam elevado potencial de aproveitamento tecnológico, como na produção de membranas para tratamento de água. Enquanto a fibroína pode atuar na separação de espécies micro e nanométricas (HUANG et al., 2018), a sericina mostra eficiência na remoção de contaminantes emergentes.

Entre as técnicas de obtenção de membranas, a separação de fases induzida por não-solvente (SFN) é uma das mais utilizadas, destacando-se a precipitação por imersão (GUILLEN et al., 2011). Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver membranas poliméricas incorporando fibroína e sericina extraídas de casulos de

segunda classe, tradicionalmente descartados pela indústria, avaliando seu desempenho na filtração e remoção de contaminantes, como alternativa sustentável e de valor agregado para a sericultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Casulos de *Bombyx mori* provenientes de uma indústria de fiação no Paraná foram submetidos à extração de sericina, por filtração a vácuo e fracionamento por congelamento/descongelamento, e de fibroína, por degomagem em solução fervente de Na_2CO_3 20 mM, seguida de solubilização em solvente ternário ($\text{CaCl}_2:\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$, 1:2:8 molar) a 78 °C por 2 h e posterior diálise em membrana de 7 kDa por 10 dias. As membranas foram produzidas pela técnica de inversão de fases (SFIN), utilizando soluções poliméricas de PVDF (20%), DMA e diferentes proporções de sericina e fibroína, previamente agitadas e aquecidas por 5 h, espalhadas em placas de vidro e precipitadas por imersão em banho de água destilada, sendo posteriormente secas em estufa a 70 °C por 48 h. Os testes de desempenho foram realizados em módulo de permeabilidade, aplicando pressões de 1 a 3 bar para determinação do fluxo permeado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As membranas produzidas foram submetidas a testes de permeabilidade à água e ao óleo. Entre todas as composições avaliadas, apenas uma, apresentada na Tabela 1, apresentou fluxo para ambos os fluidos. As Figuras 1(a) e 2(a) mostram os fluxos permeados da membrana 1 com água e óleo, respectivamente. Observa-se inicialmente um decaimento do fluxo, atribuído à compactação da membrana, até alcançar um valor constante. Com o aumento da pressão, ocorre a elevação do fluxo permeado (Figuras 1(b) e 2(b)), resultado do aumento da força motriz do processo.

Tabela 1 – Comparação entre as composições e permeabilidades observadas com água e óleo para cada membrana.

Mem-brana	PVDF (g)	Sericina (g)	Fibroína (g)	DMA (g)	Permeabilidade da água (kg/h.m ² .bar)	Permeabilidade do óleo (kg/h.m ² .bar)
1	2	0,1	0	8,4	0,05	0,93
2	2	0,1	0,2	9,2	0	0
3	2	0,2	0	8,8	3,11	0
4	2	0,2	0,1	9,2	0	0
5	2	0	0,2	8,8	0	0
6	2	0,2	0,2	9,6	0,32	0
7	2	0	0	8	0	0
8	2	0	0,1	8,4	0	0

Essa relação entre fluxo e pressão caracteriza a permeabilidade da membrana, a qual é obtida pelo coeficiente angular da reta do gráfico de fluxo em função da pressão aplicada (HABERT *et al.*, 2006), conforme ilustrado nas Figuras 1(b) e 2(b). Ao se analisar os valores de permeabilidade hidráulica, verificou-se que o teor de sericina e fibroína não apresentou tendência de influência significativa nas propriedades de fluxo e permeabilidade das membranas. Por outro lado, a

compactação da estrutura foi evidente com o aumento da pressão, fenômeno já descrito por HABERT et al. (2006), segundo os quais a pressão reduz os espaços livres no material da membrana durante a passagem de água ou óleo.

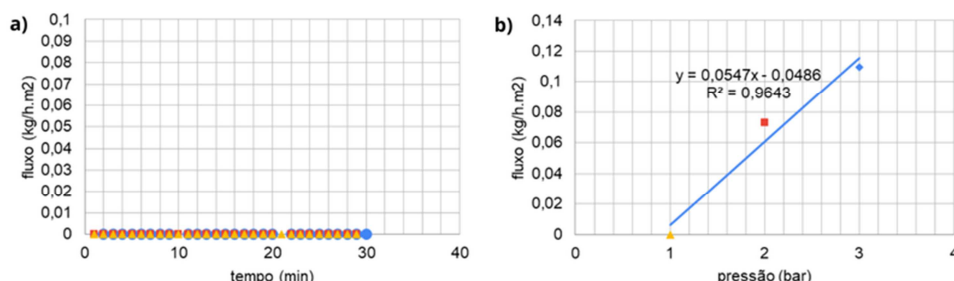


Figura 1 – a) Gráfico do fluxo de água permeado ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$) pelo tempo (min). b) Gráfico do fluxo de água permeado ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$) pelas pressões utilizadas (bar). As cores do gráfico representam as pressões utilizadas: 3 bar (azul), 2 bar (vermelho) e 1 bar (amarelo).

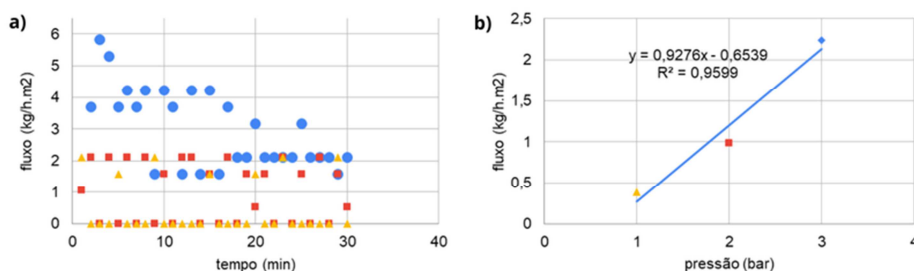


Figura 2 – a) Gráfico do fluxo de óleo permeado ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$) pelo tempo (min). b) gráfico do fluxo de óleo permeado ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$) pelas pressões utilizadas (bar). As cores do gráfico representam as pressões utilizadas: 3 bar (azul), 2 bar (vermelho) e 1 bar (amarelo).

A membrana estudada apresentou comportamento semelhante ao de membranas de osmose inversa, que possuem permeabilidade hidráulica média na ordem de $10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\cdot\text{bar}$ e poros com tamanho médio entre 1 e 0,1 nm. Os resultados indicaram baixo fluxo em ambos os casos, reforçando a hipótese de que a membrana possui poros nanométricos e características típicas de osmose inversa. Além disso, o fluxo de água foi inferior ao de óleo, sugerindo possível seletividade do material da membrana. A membrana 1 prosseguiu, então, para avaliação no processo de purificação do biodiesel, cujo perfil de fluxo permeado é apresentado na Figura 3.

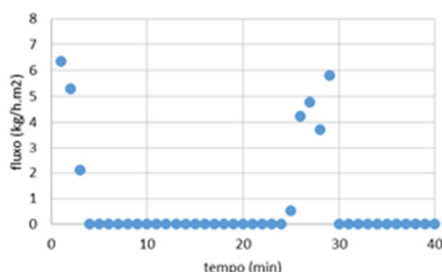


Figura 3 – Gráfico do fluxo permeado da mistura reacional ($\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$) pelo tempo (min).

A filtração foi conduzida utilizando uma mistura reacional composta por biodiesel, glicerol, etanol, catalisador residual, sabões, óleo não reagido e 1% m/m de solução ácida. O fluxo permeado apresentou comportamento intermitente,

atribuído à formação de torta sobre a superfície da membrana, que gera resistência adicional à filtração. Contudo, o processo de agitação promoveu a transferência de massa dos componentes acumulados na torta para o seio da emulsão, restabelecendo o fluxo ao longo da operação (PASCHOAL, S. M. *et al.*, 2025).

CONCLUSÕES

Os resultados indicam as possíveis aplicações da membrana polimérica à base de proteínas da seda, com composição de 19,05% de PVDF, 0,95% de sericina e 80% de DMA, em processos de separação de íons inorgânicos ou de moléculas orgânicas de baixa massa molecular, devido ao tamanho nanométrico de seus poros. Assim, valorizar casulos de segunda classe, geralmente descartados, por meio de membranas de osmose inversa, possibilita sua reutilização e consequente redução do descarte indevido ao ambiente.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece profundamente o financiamento cedido pelo CNPq.

REFERÊNCIAS

BIGANEH, H. *et al.* *Bombyx mori* cocoon as a promising pharmacological agent: A review of ethnopharmacology, chemistry and biological activities. **Heliyon**, v. 8, n. 9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10496>. Acesso em: 29 ago. 2024.

GUILLEN, G. R. *et al.* Preparation and characterization of membranes formed by nonsolvent induced phase separation: a review. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 7, p. 3798-3817, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ie101928r>. Acesso em: 29 ago. 2025.

HABERT, A. C. *et al.* **Processos de separação com membranas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

HUANG, W. *et al.* Silkworm silk-based materials and devices generated using biotechnology. **Chemical Society Reviews**, n. 17, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C8CS00187A>. Acesso em: 29 ago 2024.

PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. **Governo do Paraná prepara concurso para estimular a produção de seda**. Jul. 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Governo-do-Parana-prepara-concurso-para-estimular-producao-de-seda>. Acesso em: 29 ago. 2025.

PASCHOAL, S. M. *et al.* Separation of biodiesel and glycerol using a combined process of ultrafiltration polymeric membrane followed by adsorption on passion fruit

34º Encontro Anual de Iniciação Científica
14º Encontro Anual de Iniciação Científica Júnior



12 e 13 de novembro de 2025

seed meal. **Biofuels**, p. 1-12, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/17597269.2025.2524924>. Acesso em: 29 ago. 2025.