

DESENVOLVIMENTO DE AEROGÉIS BASEADOS EM MFC/TANINO COM ALGINATO E PECTINA COMO RETICULANTES

LINCOLN AUDREW CORDEIRO¹; CAMILA MONTEIRO CHOLANT²; PATRICIA OLIVEIRA SCHMITT³; NAURIENNI DUTRA FREITAS⁴; BRUNO NUNES DA ROSA⁵; ANDRÉ LUIZ MISSIO⁶

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

²*Universidade Federal de Pelotas– camila.scholant@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas– patricia.olimitt@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas– naurienni@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Pelotas– brunondrosa@gmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas– andreluizmissio@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

O tratamento da água enfrenta desafios significativos, com apenas 11% das águas residuais sendo tratadas, o que leva à liberação de metais pesados e poluentes, resultando em doenças como disenteria e cólera (JONES et al., 2021; ONU, 2023). Para mitigar esses impactos, é essencial adotar uma gestão sustentável, conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que visam, assegurar o acesso universal à água potável até 2030 (ONU, 2024).

A adsorção é uma técnica que se destaca por sua facilidade de aplicação, baixo custo e alta eficiência para o tratamento de água (MAGESH; ANNAM RENITA; KUMAR, 2020; POURHAKKAK et al., 2021). Esse processo envolve a fixação de moléculas ou íons de contaminantes na superfície de um sólido, conhecido como adsorvente (RUTHVEN, 1984). Mas, a toxicidade de alguns adsorventes pode comprometer a saúde e o meio ambiente. Desta forma, materiais sustentáveis, como celulose, pectina e taninos, são exemplos de substitutos viáveis no desenvolvimento de biosorventes. O tanino, por ser composto de cadeias polifenólicas, apresenta grande potencial na remoção de metais pesados e corantes catiônicos de efluentes e sua insolubilização é necessária (TAKSITTA et al., 2020; WANG et al., 2019). Somado a isso, o uso do tanino no desenvolvimento de aerogéis biosorventes podem ser eficientes na adsorção e absorção de contaminantes, fator esse beneficiado por sua alta porosidade.

Portanto, o objetivo deste estudo é avaliar, por meio de testes preliminares, a eficácia da imobilização de tanino em celulose microfibrilada para o desenvolvimento de aerogéis, utilizando reticulantes naturais, biodegradáveis e sustentáveis, como pectina cítrica e alginato de sódio, sendo alternativas promissoras para a remediação ambiental no tratamento de efluentes.

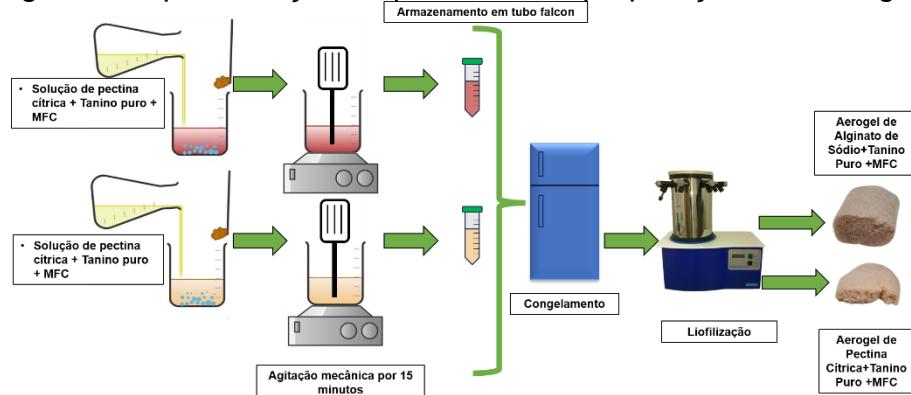
2. METODOLOGIA

Utilizou-se celulose microfibrilada (MFC) de *Eucalyptus* spp. (2% p/p), adquirido junto a Suzano S.A e processado junto ao Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e tanino em pó comercial oriundo da casca de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild) pelo qual foi gentilmente fornecido pela TANAC S.A. Como agentes reticulantes foram utilizados Alginato de Sódio P.A (Dinâmica Química Contemporânea LTDA) e Pectina Cítrica (Êxodo Científica).

A preparação dos aerogéis seguiu adaptação da literatura de Coldebella et al. (2021). Dessa forma, a suspensão de celulose microfibrilada foi adicionada ao pó de tanino (100:1) e posteriormente adicionado 30 ml de uma suspensão dos

reticulantes (alginato de sódio ou pectina cítrica) de 2,2 wt%. Em seguida, o material resultante foi agitado mecanicamente por 15 minutos. Assim, as amostras foram congeladas e depois liofilizadas, conforme Figura 1.

Figura 1-Representação esquemática de preparação dos aerogéis

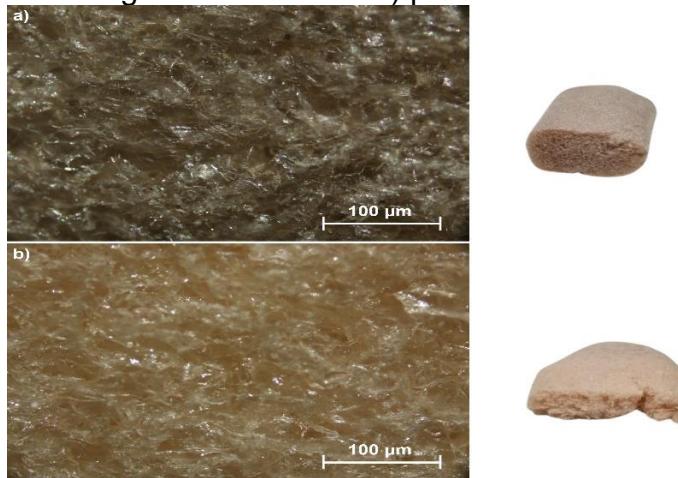


Os aerogéis resultantes foram caracterizados por Microscopia Ótica e Espectroscopia por Transformada de Fourier (FTIR), nas faixas entre 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentadas as imagens de aerogéis de tanino immobilizado em MFC com alginato e pectina sob aumento de 4x, onde se observa as características morfológicas dessas amostras.

Figura 2- Microscopia ótica dos aerogéis desenvolvidos reticulados com a) alginato de sódio e b) pectina cítrica

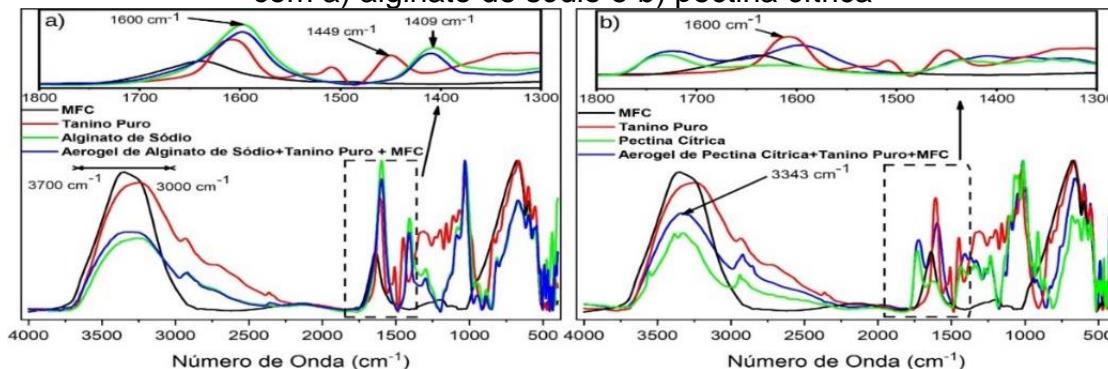


A microscopia óptica mostra que o aerogel de alginato (Figura 2a) possui grandes poros e uma rede reticulada bem definida, podendo conferir maior capacidade de absorção e rigidez. Já o aerogel de pectina (Figura 2b) apresenta poros menores e uniformes, com uma rede reticulada mais sutil, podendo conferir menor absorção e maior flexibilidade. Essas diferenças foram confirmadas empiricamente.

A Figura 3 mostra os espectros do infravermelho dos materiais precursores e os aerogéis desenvolvidos. O tanino puro apresenta uma banda larga de aproximadamente 3000 a 3700 cm^{-1} , que corresponde a vibração por alongamento

de $-OH$ dos grupos fenólicos. Além disso, a banda forte em 1606 cm^{-1} é atribuída alongamento C-O aromático. Em 1509 e 1449 cm^{-1} podem ser atribuídos ao alongamento C-C para o anel aromático (GAO et al., 2022). Já o MFC, em 3771 a 2819 cm^{-1} sugere-se vibração por alongamento $-OH$. Para o alginato de sódio, as bandas 1026 , 1407 , 1596 cm^{-1} podem ser atribuídos a ligação glicosídica (C-O-C), alongamento simétrico COO- e alongamento antissimétrico de COO-, respectivamente (LI et al., 2022)

Figura 3- FTIR dos matérias-primas e seus aerogeis desenvolvidos reticulados com a) alginato de sódio e b) pectina cítrica



De acordo com a Figura 3a, há um alargamento da banda em torno de 3000 a 3700 cm^{-1} no espectro do aerogel em comparação ao MFC e tanino puro, e aumento da amplitude em relação ao alginato de sódio, sugerindo a formação de uma rede extensa de ligações de hidrogênio entre os grupos $-OH$ do alginato, tanino e MFC, podendo ser um dos fatores de possível interação química entre todos os componentes. Em aproximadamente 1600 cm^{-1} , traz também sinais de possível interação entre tanino puro e alginato, resultando no espectro do aerogel uma banda entre eles. Há indícios que os grupos C=O do alginato de sódio (DEEPA et al., 2016) podem estar interagindo com os anéis aromáticos do tanino, visto que para o MFC, 1640 cm^{-1} indica a presença de água absorvida (CICHOSZ; MASEK, 2020).

Em aproximadamente 1409 cm^{-1} está presente as vibrações simétricas do íon carboxilato do alginato (LI et al., 2022). Para o tanino, em 1449 cm^{-1} é definido como vibração de alongamento do anel aromático (LISPERGUER; SARAVIA; VERGARA, 2016). Quando é observado tal banda característica do aerogel, é possível verificar uma certa mudança de comportamento do espectro, resultado que pode ter sido influenciado pela interação dos anéis aromáticos do tanino com o alginato (LI et al., 2022), por meio de forças de Van-der-Walls, como também a interação das hidroxilas dos grupos fenólicos dos taninos com os íons COO- do alginato por meio de ligações de hidrogênio.

Na Figura 3b, por outro lado, o aerogel de pectina cítrica com tanino e MFC apresentou um comportamento semelhante em 3343 cm^{-1} ao aerogel desenvolvido anteriormente, o que reforça a ideia o resultado anterior apresentado, sugerindo a formação de uma rede extensa de ligações de hidrogênio entre os grupos $-OH$ da pectina, tanino e MFC, sinalizando uma possível interação química entre todos os componentes. Em aproximadamente 1600 cm^{-1} ocorre também uma possível interação com tanino puro e pectina cítrica, resultando no espectro do aerogel uma banda entre eles. Há indícios que os grupos C=O da pectina cítrica podem estar interagindo com os anéis aromáticos do tanino, semelhante ao observado no alginato.

4. CONCLUSÕES

A comparação entre os aerogéis de alginato e pectina revela que o alginato, com sua porosidade evidente e maior rigidez, é ideal para aplicações em remoção de contaminantes. A análise de FTIR destaca bandas características, como a modificação da faixa de 3700 a 3000 cm⁻¹ associada a interações de -OH, e a banda em torno de 1600 cm⁻¹ relacionada aos anéis aromáticos do tanino. O alginato também apresenta uma interação adicional nas bandas de 1400 a 1450 cm⁻¹, indicando melhores propriedades de reticulação. Além disso, o uso de agentes reticulantes naturais e renováveis contribui para a sustentabilidade e biodegradabilidade dos aerogéis, reduzindo o impacto ambiental nos processos de tratamento de água.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CICHOSZ, S.; MASEK, A. IR study on cellulose with the varied moisture contents: Insight into the supramolecular structure. **Materials**, v. 13, n. 20, p. 1–22, 2020.
- COLDEBELLA, R.; GENTIL, M.; BERGER, C.; COSTA, H. W. D.; PEDRAZZI, C.; LABIDI, J.; DELUCIS, R. A.; MISSIO, A. L. Nanofibrillated cellulose-based aerogels functionalized with tajuba (*Maclura tinctoria*) heartwood extract. **Polymers**, v. 13, n. 6, 2021.
- DEEPA, B.; ABRAHAM, E.; POTHAN, L. A.; CORDEIRO, N.; FARIA, M.; THOMAS, S. Biodegradable nanocomposite films based on sodium alginate and cellulose nanofibrils. **Materials**, v. 9, n. 1, 2016.
- GAO, J.; LI, Z.; WANG, Z.; CHEN, T.; HU, G.; ZHAO, Y.; HAN, X. Facile Synthesis of Sustainable Tannin/Sodium Alginate Composite Hydrogel Beads for Efficient Removal of Methylene Blue. **Gels**, v. 8, n. 8, 2022.
- JONES, E. R.; VAN VLIET, M. T. H.; QADIR, M.; BIERKENS, M. F. P. Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse. **Earth System Science Data**, v. 13, n. 2, p. 237–254, 2021.
- LI, H.; LIU, C.; SUN, J.; LV, S. Bioactive Edible Sodium Alginate Films Incorporated with Tannic Acid as Antimicrobial and Antioxidative Food Packaging. **Foods**, v. 11, n. 19, 2022.
- LISPERGUER, J.; SARAVIA, Y.; VERGARA, E. Structure and thermal behavior of tannins from *Acacia dealbata* bark and their reactivity toward formaldehyde. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 61, n. 4, p. 3188–3190, 2016.
- MAGESH, N.; ANNAM RENITA, A.; SENTHIL KUMAR, P. Practice on treating pharmaceutical compounds (antibiotics) present in wastewater using biosorption techniques with different biowaste compounds. A review. **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 39, n. 6, 2020.
- ONU. **Wastewater: Turning Problem to Solution - A UNEP Rapid Response Assessment**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2023.
- ONU. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil / Água potável e saneamento**. 2024.
- POURHAKKAK, P.; TAGHIZADEH, A.; TAGHIZADEH, M.; GHAEDI, M.; HAGHDOUST, S. Fundamentals of adsorption technology. **Interface Science and Technology**, v. 33, p. 1–70, 2021.
- RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption processes**. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- TAKSITTA, K.; SUJARIT, P.; RATANAWIMARNWONG, N.; DONPUDSA, S.; SONGSRIOTE, K. Development of tannin-immobilized cellulose fiber extracted from coconut husk and the application as a biosorbent to remove heavy metal ions. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 14, 2020.
- WANG, G.; CHEN, Y.; XU, G.; PEI, Y. Effective removing of methylene blue from aqueous solution by tannins immobilized on cellulose microfibers. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 198–206, 2019.