

PRODUÇÃO DE UM AEROGEL A PARTIR DE NANOMATERIAIS SUSTENTÁVEIS PARA ADSORÇÃO DE CONTAMINANTES EMERGENTES

FERNANDA WICKBOLDT STARK¹; ADRIZE MEDRAN RANGEL²; EDUARDA MEDRAN RANGEL³, PASCAL SILAS THUE⁴, ROBSON ANDREAZZA⁵.

¹Universidade Federal de Pelotas – fernandastark@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Pelotas – adrizemr@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – eduardamrangel@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – pascalsilasthue@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – robsonandrezza@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Uma grande variedade de substâncias é produzida e consumida em todo mundo. Pesticidas, produtos farmacêuticos e cuidados pessoais, hormônios, protetores solares, drogas ilícitas, compostos perfluorados, subprodutos da desinfecção, nanomateriais, microplásticos estão entre essas substâncias (MONTAGNER et al., 2018). Muitos desses produtos geraram uma nova classe de contaminantes, chamados de contaminantes emergentes (CE). Sua existência no ambiente não é nova. No entanto, o atual desenvolvimento de técnicas analíticas mais sensíveis possibilitou a detecção de CE em ar, solo e águas (PURI; GANDHI; KUMAR, 2022).

As técnicas convencionais de tratamento de águas e efluentes não são suficientes para remover efetivamente muitos CE. Uma variedade de tecnologias está sendo utilizada para a remoção de CE (KUMAR et al., 2022). Entre as tecnologias de tratamento de água, a adsorção tem demonstrado ser uma técnica eficiente, além de ser de baixo custo e de fácil implantação. O grande benefício desse método é que ele utiliza matérias-primas renováveis, podendo ser produzidos a partir de biopolímeros naturais, incluindo a celulose, hemicelulose, lignina, amido, proteína e quitina. Esses biopolímeros contêm grupos funcionais que fornecem várias funcionalidades químicas e propriedades físicas para remoção de contaminantes (WU et al., 2022).

Aerogéis são estruturas porosas tridimensionais considerados excelentes adsorventes não convencionais para remoção de contaminantes da água (DANG et al., 2023). Um dos materiais mais utilizados para produção de aerogéis são os polímeros (CAMANI et al., 2023). A gelatina é um biopolímero biodegradável, barato, abundante e renovável (HAYEYEA et al., 2017). Por possuir grupos funcionais negativos (COOH e OH) e positivos (NH₂) em determinado pH, a gelatina é considerada um adsorvente eficiente (MIR; AMOOEY; GHASEMI, 2018). Além disso, proporciona fácil gelificação e funcionalização. Essas características tornam a gelatina um material superior para aplicação em géis e aerogéis, podendo ser ajustada por diferentes moldes usados no processo de fabricação (JIANG et al., 2019). A celulose é conhecida por ser o polímero mais abundante, natural, renovável e biodegradável na terra (NORIZAN et al., 2022). Pesquisadores descobriram que o uso de compósito a base de nanocelulose como adsorvente apresenta uma capacidade de adsorção superior em comparação com adsorventes disponíveis no mercado, como carvão ativado, zeólita e quitosana (NORIZAN et al., 2022).

No entanto, essas alternativas tecnológicas para adsorção estão em fase inicial de desenvolvimento e precisam de mais estudos. Pesquisas futuras devem abordar melhoria dos materiais adsorventes e aplicação de materiais compósitos para

umentar a capacidade de adsorção e a possibilidade de regeneração e reutilização do adsorvente (COCCIA e BOTEMPI, 2023). Portanto, o presente estudo busca produzir um aerogel de gelatina com fibras e nanocristais de celulose para aplicação em tratamento de água e efluentes.

2. METODOLOGIA

O pó de nanocristais de celulose (CNC) foi fornecido pela empresa Celluforce e a solução de celulose microfibrilada 3% (CMF) foi fornecida pela Embrapa. A gelatina em pó P.A. (gel.) foi adquirida da empresa Dinâmica Química Contemporânea Ltda.

A produção do aerogel compreende três processos: polimerização, congelamento e liofilização. O processo de polimerização e congelamento foram realizados no Laboratório de Química Ambiental e o processo de Liofilização foi realizado no Laboratório de Nanomateriais da Universidade Federal de Pelotas.

Inicialmente, a gelatina foi dissolvida em água destilada a uma temperatura de 40°C em agitador magnético. O CNC e CMF foram adicionados posteriormente a dissolução da gelatina. Essa solução passou por agitador magnético 120 rpm a 40°C, banho ultrassônico a 40°C e pelo ultra Turrax 15.000 rpm, consistindo no processo de polimerização. Após concluída essa etapa, 5 ml a 10ml da solução espumosa foram despejadas em moldes e imediatamente congeladas em freezer. Por fim, a solução congelada passou pelo processo de liofilização.

Quanto a formulação e o tempo de cada processo na formação do aerogel, foram realizados testes para determinar as melhores condições e os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1: testes de formulação, polimerização e liofilização do aerogel.

Teste	Formulação (%)			Polimerização (min.)			Liofilização (ml)
	Gel.	CNC	CMF	Agitador magnético	Banho ultrassônico	Ultra turrax	
a	10	0	10	60	0	5	10
b	4,6	0,7	0,7	90	15	5	5
c	4,6	0,7	0,7	90	15	10	5
d	6	0,3	0,7	90	15	10	5

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aerogéis produzidos formaram uma estrutura tridimensional porosa com baixo peso e características de hidrofiliidade (Figura A e B). Uma das limitações de aerogéis a base de biopolímeros é a elevada hidrofiliidade o que limita suas interações com poluentes orgânicos, que são de natureza hidrofóbica (CAMPAROTTO et al., 2023). Além disso, durante o processo de polimerização formou-se duas fases, sendo possível identificar que houve separação da celulose e da gelatina. Uma variável que pode ter afetado a polimerização é a concentração dos componentes do aerogel. Jiang et al. (2019) preparou um aerogel com 5% de gelatina em peso e um teor de TiO₂ de 2%. As ligações de hidrogênio entre as nanopartículas de TiO₂ e as moléculas de gelatina foi de grande importância para a integridade e na estabilidade estrutural. Quando a concentração de gelatina era inferior a 5% em peso, o gel formado era instável. Em concentrações superiores a 5%, a dispersão das Nanopartículas de TiO₂ era prejudicada. Wang et al. (2020) utilizou-se 3% de gelatina com adição de 0,01 mol/l de decil sulfato de sódio para o

processo de gelificação com modelo de microbolhas. O aerogel produzido exibiu poros amplos e interconectados e melhoras no desempenho mecânico.

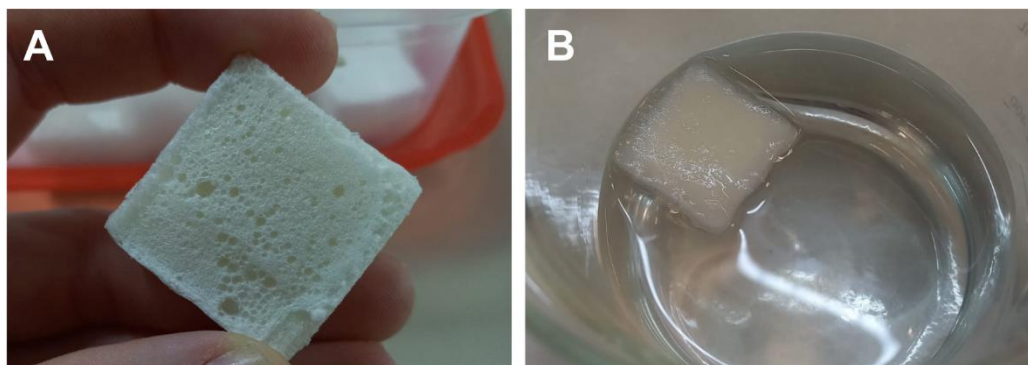


Figura 1: Imagens A (após liofilização) e B (em contato com água destilada) da estrutura do aerogel de gelatina e celulose.

Foi constatado nesta pesquisa que o tempo de polimerização também é um fator que precisa ser modificado para promover as ligações entre a gelatina e a celulose. Jiang et al. (2019) agitou a solução de gelatina 5% e TiO_2 2% por 6 horas a 60°C até que a solução se tornasse um leite branco. Tang et al. (2023) preparou um aerogel com 0,8% de nanofibras de celulose em 12 horas de agitação para dissolvê-la completamente. Em seguida, adicionou 0,1g de bentonita magnética e 0,3g de polietilenoimina e agitou novamente por mais 4 horas a 70°C .

Uma melhoria para os aerogéis aqui produzidos seria aumentar a sua estabilidade estrutural para melhorar a capacidade de adsorção de contaminantes orgânicos através da reticulação, incorporando aditivos orgânicos e inorgânicos. Os polímeros naturais são reticulados pela reação entre grupos hidroxila ou amino, formando unidades reticuladas insolúveis em água (MUTHUKUMARAN et al., 2021). Li et al. (2020), utilizou quitosana e celulose bacteriana para melhorar a estabilidade da água do aerogel, em vez do uso de um agente de reticulação químico prejudicial ao meio ambiente.

4. CONCLUSÕES

Foi possível produzir aerogéis compostos de gelatina e celulose. No entanto, para melhorar as propriedades físico-químicas do aerogel é necessário estender o tempo de polimerização, conduzir experimentos com diferentes concentrações de gelatina e celulose. Além disso, explorar a incorporação de um agente reticulante entre esses componentes seria uma alternativa para melhorar as ligações químicas e aumentar a adsorção de contaminantes orgânicos. É importante destacar que o material que estamos propondo possui potencial de substituir recursos não renováveis na remoção de contaminantes de águas, contribuindo assim para uma abordagem mais sustentável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMANI, P. H. et al. Divalent metal ion removal from simulated water using sustainable starch aerogels: Effect of crosslinking agent concentration and sorption conditions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 226, p. 628–645, 2023.
- CAMPAROTTO, N. G. et al. Hydrophobization of aerogels based on chitosan, nanocellulose and tannic acid: Improvements on the aerogel features and the

adsorption of contaminants in water. **Environmental Research**, v. 220, p. 115197–115197, 2023.

COCCIA, M.; BONTEMPI, E. New trajectories of technologies for the removal of pollutants and emerging contaminants in the environment. **Environmental Research** v. 229, p. 115938–115938, 2023.

DANG, A. et al. High-Efficient Adsorption for Versatile Adsorbates by Elastic Reduced Graphene Oxide/Fe₃O₄ Magnetic Aerogels Mediated by Carbon Nanotubes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 457, p. 131846–131846, 2023.

HAYEEYE, F. et al. Kinetics and thermodynamics of Rhodamine B adsorption by gelatin/activated carbon composite beads. **Coloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects**. v. 513, p. 259–266, 2017.

JIANG, J. et al. A multifunctional gelatin-based aerogel with superior pollutants adsorption, oil/water separation and photocatalytic properties. **Chemical Engineering Journal**, v. 358, p. 1539–1551, 2019.

KUMAR, R. et al. A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 6, p. 100219, 2022.

LI, D. et al. Multifunctional adsorbent based on metal-organic framework modified bacterial cellulose/chitosan composite aerogel for high efficient removal of heavy metal ion and organic pollutant. **Chemical Engineering Journal**, v. 383, p. 123127, 2020.

MIR, A.; AMOOEY, A. A.; GHASEMI, S. Adsorption of direct yellow 12 from aqueous solutions by an iron oxide-gelatin nanoadsorbent; kinetic, isotherm and mechanism analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 570–580, 2018.

MONTAGNER, C. et al. Ten Years-Snapshot of the Occurrence of Emerging Contaminants in Drinking, Surface and Ground Waters and Wastewaters from São Paulo State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, 2018.

MUTHUKUMARAN, P. et al. Tailored natural polymers: a useful eco-friendly sustainable tool for the mitigation of emerging pollutants: a review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 18, n. 8, p. 2491–2510, 2021.

NORIZAN, M. N. et al. Nanocellulose-Based Nanocomposites for Sustainable Applications: A Review. **Nanomaterials**, v. 12, n. 19, p. 3483, 5 out. 2022.

PURI, M.; GANDHI, K.; KUMAR, M. S. Emerging environmental contaminants: A global perspective on policies and regulations. **Journal of Environmental Management**, v. 332, p. 117344, 2023.

TANG, R. et al. Multifunctional nano-cellulose aerogel for efficient oil–water separation: Vital roles of magnetic exfoliated bentonite and polyethyleneimine. **Separation and Purification Technology**, v. 314, p. 123557–123557, 2023.

WU, S. et al. Recent advances on sustainable bio-based materials for water treatment: Fabrication, modification and application. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 6, p. 108921, 2022.

WANG, Q. et al. Facile fabrication of bubbles-enhanced flexible bioaerogels for efficient and recyclable oil adsorption. **Chemical Engineering Journal**, v. 402, p. 126240–126240, 2020.

TANG, R. et al. Multifunctional nano-cellulose aerogel for efficient oil–water separation: Vital roles of magnetic exfoliated bentonite and polyethyleneimine. **Separation and Purification Technology**, v. 314, p. 123557–123557, 2023.