DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ELETROFIADOS INCORPORADOS COM ZEÓLITAS NATURAIS PARA APLICAÇÃO EM MEIOS FILTRANTES

Gabriela Ayumi Kishimoto (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante (Orientador). E-mail: mhnoscaliante2@uem.br.

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

Engenharia Química / Tecnologia Química.

Palavras-chave: Zeólita clinoptilolita; Adsorção; Eletrofiação.

RESUMO

Com a crescente preocupação em relação ao consumo de água, e como lidar com os contaminantes emergentes (CE) presentes na água, o seguinte trabalho desenvolveu novos meios filtrantes incorporados com zeólita natural por meio da técnica de eletrofiação. Através dos estudos de permeabilidade hidráulica realizados, verificou-se que com a adição de zeólita na sua composição houve uma diminuição nos valores de fluxo médio em comparação com as membranas sem a zeólita, devido às suas propriedades hidrofílicas. E os resultados para o estudo de retenção, verifica-se um aumento em relação à porcentagem de remoção do fármaco fluoxetina (um CE presente na água), sendo ele de 24,055% de remoção. Portanto, a membrana polimérica eletrofiada, composta por PVDF/PAN e zeólita incorporada no seu interior, apresentam uma solução acessível para o tratamento do contaminante emergente.

INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes emergentes em águas e efluentes tem despertado crescente preocupação devido à dificuldade de remoção dessas substâncias pelos processos convencionais de tratamento. Nesse contexto, a filtração por membranas apresenta-se como uma alternativa para a separação desses contaminantes, podendo ter seu desempenho aprimorado por modificações na composição e nas propriedades do material filtrante (Ahmed et. al. 2021; da Silva et. al. 2024). Entre as técnicas utilizadas para o tratamento de contaminantes emergentes, destaca-se a filtração por membranas, cujo desempenho pode ser aprimorado pela incorporação de materiais com propriedades adsortivas. Nesse contexto, as membranas eletrofiadas apresentam elevada área superficial e porosidade, possibilitando a incorporação de aditivos, como zeólitas, capazes de contribuir adicionalmente para a retenção dos contaminantes (Rathi, Kumar & Show, 2020; Zhang et al., 2021). Dessa forma, pode-se fazer modificações nos materiais eletrofiados através do emprego de aditivos, como a zeólita, a fim de melhorar seu desempenho como meio filtrante, além de possuírem propriedades adsortivas complementares, e seu custo

que é economicamente viável por tratar-se de um mineral que é encontrado de maneira abundante (Caovilla et. al. 2009).
Diante dessas circunstâncias, com a dificuldade para obtenção de água potável, os materiais eletrofiados têm ganhado destaque como meios filtrantes, podendo apresentar propriedades adsortivas quando modificados com aditivos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Eletrofiação
O módulo para eletrofiação indicado na Figura 1 é composto por uma fonte de alta tensão, uma bomba de vazão de seringa e uma placa coletora. A solução polimérica foi preparada com PVDF, PAN e DMF, com incorporação de zeólita natural, e mantida sob agitação a 600 rpm e 80 °C por aproximadamente 1 h. Em seguida, a solução foi submetida à eletrofiação. Os parâmetros ajustados foram: tensão de 20 kV, vazão de 10 mL h^{-1} e distância de 10 cm entre a agulha e o coletor. As fibras produzidas foram coletadas sobre uma placa metálica revestida com folha de alumínio.

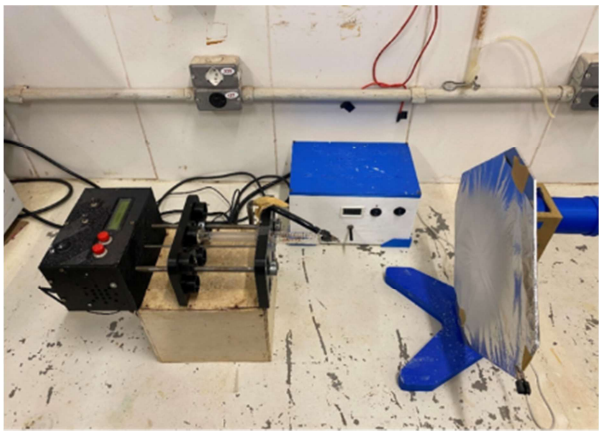


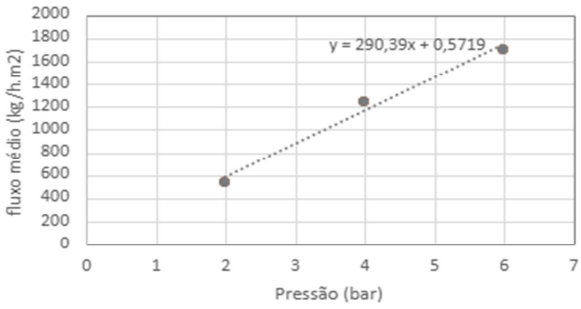
Figura 1 - Módulo de eletrofiação

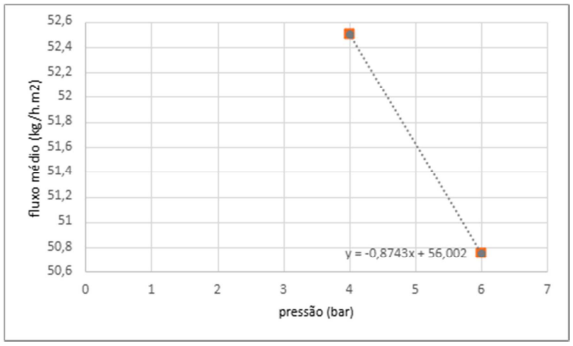
Caracterização e avaliação do meio filtrante
Após a síntese das nanofibras, elas foram avaliadas quanto à sua permeabilidade hidráulica conforme o modelo de Kozeny-Carman reportado por Brauns et al. (2005).

Remoção do fármaco (fluoxetina) por meio das nanofibras produzidas
Para a avaliação da remoção de fluoxetina, foram filtrados 200 mL de solução de fluoxetina a 200 mg L^{-1} sob pressão de 4 bar. A concentração final foi determinada por espectrofotometria UV-Vis a 226 nm, a partir de uma curva de calibração previamente construída.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Permeabilidade Hidráulica
Figura 2–Permeabilidade hidráulica da membrana sem Zeólita
Figura 3–Permeabilidade hidráulica da membrana com 5% Zeólita





A incorporação da zeólita produziu um aumento pronunciado na resistência hidráulica. A 0,40 MPa, o fluxo mássico médio diminuiu de 1250,48 kg m^{-2} h^{-1} para 52,50 kg m^{-2} h^{-1} para membrana sem zeólita e membrana contendo 5% de zeólita, respectivamente, correspondendo a uma redução de aproximadamente 95,8%. Esse comportamento está qualitativamente de acordo com o relatado por He et al., que observaram que a incorporação de nanozeólita alterou o transporte de água em membranas de PVDF/PAN eletrofiadas.

Estudos de remoção do fármaco (fluoxetina) por meio das nanofibras produzidas

Tabela 1 – Dados sobre o fluxo, remoção e composição das membranas.

Membrana	Composição	Fluxo (kg.h^{-1}.m^{-2})	Remoção (%)	Remoção (mg)
1°	10% PVDF; 1,5% PAN	1250,48	0	0
2°	10% PVDF; 1,5% PAN; 0,05g Zeólita	52,50	24,055	51,18

Por meio dos dados da Tabela 1, a incorporação da zeólita promoveu aumento na remoção de fluoxetina, possivelmente associado às propriedades adsortivas e aos sítios ativos do aditivo em virtude de suas propriedades hidrofílicas, de maneira análoga com estudos realizados por Isawi, Abulyazied e Alsharif (2025), empregando nanopartículas de zeólitas, abordando-se a presença de sítios ativos, e consequentemente, promovendo as interações adsortivas com o fármaco utilizado.

CONCLUSÕES

Assim, as membranas poliméricas de PVDF/PAN eletrofiadas incorporadas com zeólita natural clinoptilolita apresentaram maior remoção do contaminante emergente, com eficiências de remoção variando de 0 a 24,055%, dependendo da incorporação de zeólita na membrana. Esses resultados contribuem para o desenvolvimento de materiais destinados a atender à crescente demanda por processos sustentáveis.

Os resultados indicam o potencial das membranas como meios filtrantes, enquanto a incorporação da zeólita pode contribuir adicionalmente para a remoção dos contaminantes por interações adsortivas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pelo apoio financeiro por meio da bolsa de Iniciação Científica do PIBIC e à Universidade Estadual de Maringá (UEM) por disponibilizar a infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRAUNS, E. et al. Dead-end filtration experiments on model dispersions: comparison of VFM data and the KozenyCarman model. Desalination, vol. 177, no 1–3, p. 303–315, jun. 2005. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

CAOVILLA, A.; RIGO, R. T.; PENHA, F. G.; PERGHER, S. B. C. Estudo e caracterização da zeólita OFF tipo T empregando diferentes fontes de silício. Química Nova, v. 32, n. 7, p. 1818-1821, março 2009. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

HE, W. et al. Anchoring nano-zeolite NaX particles on polydopamine-modified PVDF/PAN electrospun membranes for enhancing interception, adsorption and antifouling performance. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, v. 670, p. 131587, ISSN 0927-7757, ago. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131587. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

ISAWI, H.; ABULYAZIED, D. E.; ALSHARIF, M. A. Improvement of poly(vinylidene fluoride) electrospun nanofiber membrane via grafting polymerization with AMPS and zeolite nanoparticles for potential uses in water treatment. Surfaces and Interfaces, v. 72, p. 107226, set. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.107226. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

RATHI, B. S.; KUMAR, P. S.; SHOW, P. L.. A review on effective removal of emerging contaminants from aquatic systems: current trends and scope for further research. Journal of Hazardous Materials, v. 409, p. 124413, maio 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124413. Acesso em: 21 de agosto de 2025.

ZHANG, Y. et al. Immobilization of Copper from Aqueous Solution and Contaminated Sediment Using Modified Clinoptilolite. Water, Air, & Soil Pollution, v. 230, p. 184, jul. 2019. Disponível em: doi.org/10.1007/s11270-019-4231-9. Acesso em: 21 de agosto de 2025.