

PREPARAÇÃO DE AEROGÉIS CONTENDO POLIESTIRENO E SUA APLICAÇÃO NA ADSORÇÃO DE ANTIBIÓTICOS EM ÁGUAS

Palavras-Chave: ADSORÇÃO, AEROGÉIS, ANTIBIÓTICOS

Autoras

NATCHELIE PEREIRA DA COSTA SANTOS, FT – UNICAMP

PAULA MAYARA MORAIS DA SILVA, FT - UNICAMP

Profa. Dra. PATRÍCIA PREDIGER, FT - UNICAMP

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A disposição inadequada de efluentes é um dos principais desafios ambientais enfrentados atualmente. Esses efluentes frequentemente contêm substâncias como fármacos e corantes, que podem ser tóxicos para humanos e animais (CAIXETA; BRAVO; PEREIRA, 2022). Dessa forma, é crucial adotar novas tecnologias para tratar os efluentes gerados de maneira eficaz. Nesse cenário, a adsorção se destaca como uma tecnologia de tratamento avançada e promissora, tendo em vista seu baixo custo e alta eficiência na remoção, podendo ainda reaproveitar materiais como adsorventes (DUTTA; MAL, 2020). Dentre os materiais adsorventes, destacam-se os polímeros, sendo classificados como um material plástico, como o poliestireno.

O reuso do poliestireno como um adsorvente é de interesse dos pontos de vista econômico e ambiental, considerando o descarte incorreto e o uso excessivo do plástico nos últimos anos, principalmente na produção de embalagens (DONG *et al.* 2020). A reciclagem de materiais plásticos, principalmente o poliestireno, demandam alto custo, devido à sua baixa densidade, além de ser um perigo para o meio ambiente, tendo em vista a sua fácil transformação em microplásticos (ULLAH *et al.*, 2023). Como forma de reutilizar este material, estudos mostram a transformação deste em polímero poliestireno hiper crosslinkado (PEH) (SONG *et al.* 2024). Através dessa tecnologia, o poliestireno passa a possuir uma estrutura tridimensional com ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, e consequentemente, mais resistente (MASOUMI; GHAEMI; GILANI, 2021).

Além disso, para impedir que este pó (PEH) chegue ao ambiente e se torne um contaminante ambiental, diversos materiais têm sido pesquisados como suportes sólidos, biodegradáveis e econômicos, feitos com matérias-primas acessíveis e disponíveis localmente. Dentre estes materiais, os aerogéis de batata-doce (SPS, do inglês *sweet potato starch*) tem se destacado ao apresentar uma estrutura porosa e um baixo custo de produção, além de ser uma aplicação sustentável (WANG *et al.*, 2020).

Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo preparar aerogéis de amido de batata-doce contendo poliestireno hiper cross-linkado (SPS@PEH), caracterizá-los e estudar a sua aplicação na remoção de antibióticos em água.

2. METODOLOGIA

2.1. Produção do poliestireno hipercrosslinkado (PEH) a partir de isopor

Para a síntese do PEH (Fig 1), 1 g de resíduo de isopor foi dissolvido em 50 mL de dicloroetano (DCE), em conjunto com 1 g de cloreto de ferro anidro (FeCl_3) e formaldeído dimetil acetal (FDA), em um balão de reação de 100 mL, que ficou sob agitação e refluxo de 24 h. A reação foi realizada em atmosfera inerte. O produto foi lavado com clorofórmio, acetona, água ultrapura, metanol, HCl (5M) e água quente. Em seguida, o produto foi seco em estufa à 100 °C.

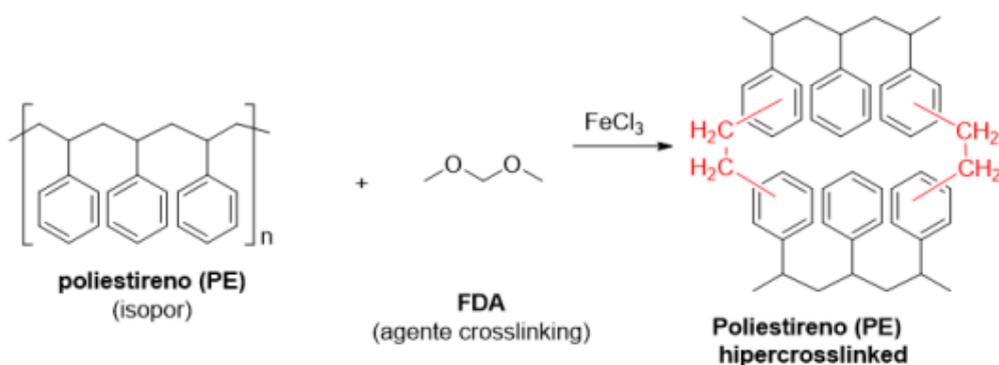


Figura 1. Reação de alquilação de Friedel-Crafts com polietileno para geração do polietileno

2.2. Produção do aerogel de batata-doce para imobilização do poliestireno hipercrosslinkado (PEH)

Esta etapa do projeto foi realizada em parceria com a profa. Dra. Carolina Picone (FEA-UNICAMP). Para isso, a batata-doce foi descascada e cortada em pequenos cubos, e batidos no liquidificador com água ultrapura. A pasta obtida ficou em repouso por 24 h, e o precipitado foi ressuspenso em água ultrapura. Essa suspensão ficou em repouso por 4 h a 10 °C, seguido de lavagens com água ultrapura. A pasta precipitada foi seca em liofilizador. Para a produção dos aerogéis com PEH, foi utilizado 10% de PEH em relação à massa de amido, seguindo o mesmo procedimento do aerogel de batata-doce puro. Os aerogéis puros e SPS@PEH foram enviados para serem caracterizados por FTIR, MEV, DRX e BET.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização do PEH

O PEH foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Fig 2 a-b). Pode-se verificar que o material se apresenta da forma de blocos medindo em torno de 20 μm de diâmetro, semelhante ao reportado por Dong *et al.* O PEH apresenta, também, característica amorfa, conforme o difratograma obtido pela técnica de DRX (Fig 2c). Além disso, a análise termogravimétrica indicou que o PEH sintetizado apresentou estabilidade térmica, com início de sua degradação em torno de 400 $^{\circ}\text{C}$ (TGA, Fig 2d). Em relação ao espectro de FTIR (Fig 2e), nota-se a presença de bandas em 3356 cm^{-1} , 3027 cm^{-1} e 2919 cm^{-1} , referente aos grupos O–H, C–H (anel aromático) e estiramento C–H, respectivamente. As bandas em 1603 cm^{-1} e 1448 cm^{-1} referem-se aos grupos C=C, indicando a presença de anéis aromáticos, confirmando a integridade do poliestireno após a reação de síntese do PEH. A banda em 1701 cm^{-1} indica a presença de anéis aromáticos multissubstituídos, confirmando o sucesso da reação de hipercrosslinkagem da síntese do PEH. Adicionalmente, foi feita análise de BET para medida de área superficial. Esta análise indicou que o PEH possui um volume de poros de 0.62 cm^3/g , um tamanho médio de poros de 2.02 nm e alta área superficial de 759,34 m^2/g . Assim, o PEH foi imobilizado em aerogel de amido de batata doce, gerando SPS@PEH, os quais serão caracterizados e aplicados em ensaios de adsorção.

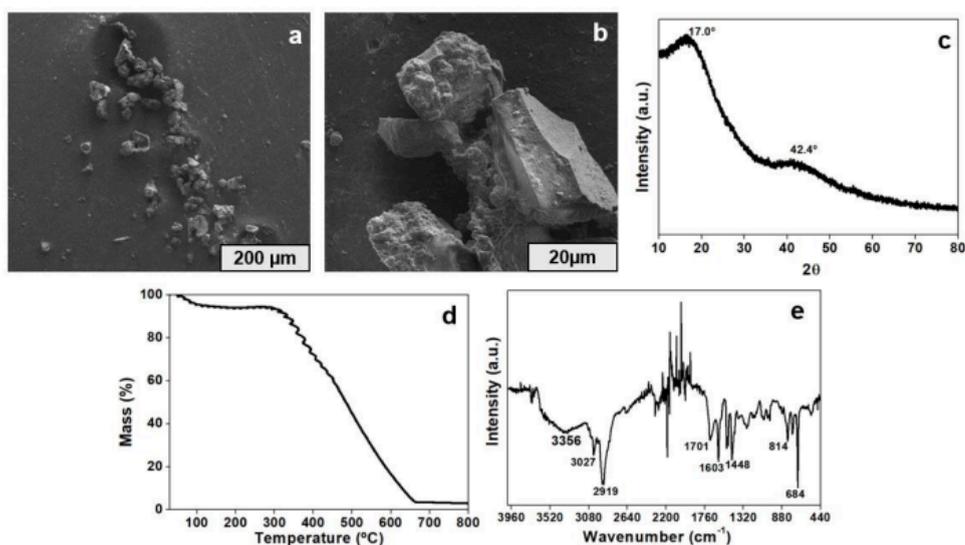


Figura 2. Caracterizações do PEH puro: (a,b) MEV; (c) DRX; (d) TGA; (e) FTIR.

3.2. Ensaio de adsorção para a remoção de antibióticos utilizando aerogéis

Para se avaliar o potencial de adsorção dos aerogéis SPS@PEH, realizou-se ensaios de remoção dos antibióticos CIP, LEV e DOX. Observou-se que o CIP foi o antibiótico mais removido pelo SPS@PEH (59%), seguido de DOX (54%) e LEV (49%). Além disso, o uso de PEH no aerogel aumentou a remoção de CIP em 90%, enquanto para LEV o aumento foi de 104%. Apenas para o antibiótico DOX não foi observada melhorias na remoção pela inserção de PEH no aerogel. Acredita-se que a remoção de CIP e LEV ocorra por interação π - π e ligação de hidrogênio.

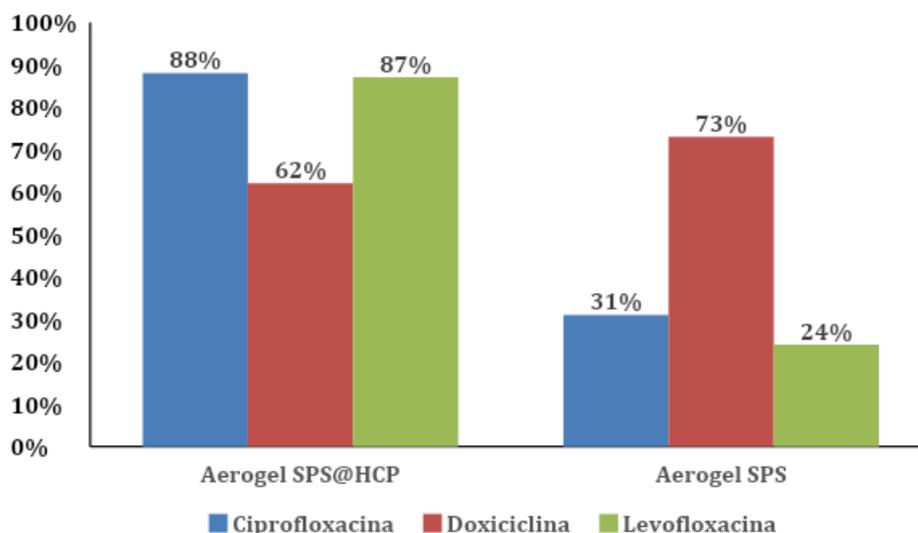


Figura 3. Resultados de adsorção de ciprofloxacino, doxiciclina e levofloxacino pelos aerogéis SPS e SPS@PEH. O teste foi realizado em pH 6, 10 mg/L de antibióticos, massa do contaminante de 0,04 g e 24 hrs de tempo de contato.

4. CONCLUSÕES

Neste projeto foi desenvolvido o PEH baseado em resíduo plástico de poliestireno, que foi caracterizado e imobilizado em aerogel de batata-doce. O PEH apresentou excelente estabilidade térmica e grande área superficial. Além disso, o aerogel SPS@PEH se mostrou um excelente adsorvente para os antibióticos CIP e LEV, mostrando seu potencial para descontaminação de efluentes. Os aerogéis terão suas características confirmadas por diversas técnicas de caracterização e será feita a otimização do sistema adsorptivo para o antibiótico CIP.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (311419/2022-4), ao Fundo de Apoio às Atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão (FAPEX) (2207/23, 2529/23), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (2022/14834-0; 2022/09919-2), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

BIBLIOGRAFIA

- E. S. Caixeta, J. V. Meza Bravo, and B. B. Pereira, “**Ecotoxicological assessment of water and sediment river samples to evaluate the environmental risks of anthropogenic contamination**,” *Chemosphere*, vol. 306, p. 135595, Nov. 2022.
- Joydeep Dutta, Aijaz Ahmad Mala; **Removal of antibiotic from the water environment by the adsorption technologies: a review**. *Water Sci Technol* 1 August 2020; 82 (3): 401–426.
- Dong *et al.* “**Recycling Plastic Waste for Environmental Remediation in Water Purification and CO₂ Capture**”, *ACS Applied Polymer Materials* 2020 2 (7), 2586-2593.
- Ullah, R., Tsui, M.TK., Chow, A. et al. **Micro(nano)plastic pollution in terrestrial ecosystem: emphasis on impacts of polystyrene on soil biota, plants, animals, and humans**. *Environ Monit Assess* 195, 252 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10769-3>
- Song *et al.* “**Versatile Hyper-Cross-Linked Polymers Derived from Waste Polystyrene: Synthesis, Properties, and Intentional Recycling**”. *Langmuir Article ASAP*, Jun. 2024.
- Hadiseh Masoumi, Ahad Ghaemi and Hossein Gannadzadeh Gilani. **Evaluation of hyper-cross-linked polymers performances in the removal of hazardous heavy metal ions: A review**. *Separation and Purification Technology*, Volume 260, 2021.
- Wang *et al.* **Impact of ultrasonication on the aggregation structure and physicochemical characteristics of sweet potato starch**. *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 63, 2020.