

ESPUMAS DE POLIURETANO APLICADAS NA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DA ÁGUA

LUÍSA ANGELO DOS ANJOS¹; THAYS FRANÇA AFONSO²; ROBSON ANDREAZZA³

¹Universidade Federal de Pelotas – luisaangelo22@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – thaysafonso@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – robsonandreazza@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Apesar da enorme importância de se proteger não apenas o meio ambiente, mas também preservar e racionalizar os recursos hídricos no planeta, é fato que com o advento da Primeira Revolução Industrial juntamente com o despejo exponencial de efluentes domésticos e industriais carregados de poluentes dos mais diversos tipos nos sistemas aquáticos, vem aumentando cada vez mais a presença de contaminantes orgânicos e inorgânicos nos corpos d'água do mundo todo (ALMEIDA et al., 2019). Grande parte destes poluentes, recebidos sem tratamento adequado, ou ainda, em estado bruto pelo meio, são os chamados metais pesados.

Dentre os despejos citados acima, os do setor industrial são os que mais trazem consigo preocupações com a grande presença de metais pesados devido a diversos processos realizados diariamente que envolvem estas substâncias, que podem trazer sérios danos à fauna e à flora como um todo, principalmente pela sua capacidade de bioacumulação e toxicidade, que ocorrem nos tecidos dos seres vivos (RODRIGUES E SILVA, 2018). Apesar de serem considerados de difícil remoção, existem uma ampla gama de processos que conseguem remediar estes contaminantes do meio aquático, com diferentes métodos, matérias-primas, eficiências e custo-benefício.

Considerando o cenário atual de tratamento de águas e a necessidade crescente de se obter desenvolvimento sustentável nesse contexto, é preciso desenvolver materiais reutilizáveis, que possam remover metais tóxicos. As espumas feitas de polímeros, por exemplo, são obtidas pela nucleação de bolhas de gás, podendo ser sintetizadas a partir de uma ampla gama de polímeros, polímero fundido ou ainda, uma mistura de monômeros, seguida por uma transição de fase que estabiliza a estrutura porosa resultante (MONIE et al., 2021).

As espumas de poliuretanos (PU) são materiais poliméricos formados pela reação de polimerização (poliadição) entre grupos OH (hidroxilas de um poliálcool, ou seja, álcool polifuncional), com dois ou mais isocianatos, de grupos NCO (isocianatos), sendo muito comum produzir PU utilizando, também, diversas matérias-primas, como o diisocianato de parafenileno e o etilenoglicol, por exemplo (CANGEMI; SANTOS; CLARO, 2019). Ainda de acordo com MONIE et al. (2021), as espumas poliméricas se destacam por combinar a leveza de um material poroso com uma baixa condutividade térmica e elétrica, além de boas capacidades de adsorção e filtração, dependendo de sua morfologia.

Este presente trabalho teve, então, como objetivo realizar uma revisão da literatura, por meio da seleção de artigos científicos mais recentes, visando pesquisar dados relatados por pesquisadores acerca do potencial de remoção de

metais pesados da água por espumas de poliuretano associados e produzidos a partir de diferentes matérias-primas.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na escrita do presente estudo foi a revisão de literatura, modalidade que consiste na busca e síntese de conhecimento disponível na bibliografia, o que consequentemente possibilita analisar estudos com diferentes técnicas, resultados e variáveis, obtendo maior quantidade e qualidade de informações (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011). Os trabalhos escolhidos foram obtidos do portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior), pelo qual foi possível acessar a revista Science Direct (Elsevier), portadora de uma grande coleção de publicações de Ciências Físicas e Engenharia.

As palavras-chave foram pesquisadas em inglês, objetivando dispor de uma gama maior de resultados, sendo elas “polyurethane”, “foam”, “heavy metals” e “adsorption”, buscando selecionar trabalhos mais recentes o possível, apenas entre anos de 2021 e 2022. Por meio deste método foram obtidos mais de novecentos resultados, dos quais 4 de maior relevância foram selecionados para a elaboração deste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o início dos resultados e discussão, primeiramente, na Tabela 1, foram representados os artigos selecionados para a revisão da literatura, bem como suas referências, buscando maior organização e clareza.

Tabela 1 - Artigos selecionados para a revisão

Artigo	Referência
<i>Heavy metal ions and particulate pollutants can be effectively removed by a gravity-driven ceramic foam filter optimized by carbon nanotube implantation</i>	ZHOU et al., 2022
<i>Reutilization of waste biomass from sugarcane bagasse and orange peel to obtain carbon foams: Applications in the metal ions removal</i>	LICONA-AGUILAR et al., 2022
<i>Rational design of MXene coated polyurethane foam for the removal of Pb²⁺</i>	SHAFIQ et al., 2021
<i>Stable and recyclable polyporous polyurethane foam highly loaded with UIO-66-NH₂ nanoparticles for removal of Cr(VI) in wastewater</i>	REN et al., 2022

A seguir, na Tabela 2, estão dispostos os resultados mais relevantes encontrados pelos autores em cada trabalho, apresentando a espuma em questão e sua matéria prima, o contaminante a ser removido e a remoção final.

Tabela 2 - Resultados

Matéria prima da Espuma	Contami-	Capacidade de Remoção e	Referência
-------------------------	----------	-------------------------	------------

	nante	Resultados	
Espumas cerâmicas de cinzas volantes, de estrutura porosa tridimensional interligada, com nanotubos de carbono de paredes múltiplas	Pb(II) e Cd(II)	Teve eficiência na remoção de 96.33% de Cd(II) e de 95.12% para Pb(II)	ZHOU et al., 2022
Carvões ativados de bagaço de cana-de-açúcar (BC) e casca de laranja (CL) usados para produção de espuma	Pb, Cd, Zn e Cu	A espuma produzida de CL obteve a melhor eliminação, em comparação com BC, com valores para Pb de $95.2 \pm 3.96\%$ e $94.7 \pm 4.88\%$ para Cu	LICONA-AGUILAR et al., 2022
Espuma de poliuretano revestida com MXene e Quitosana	Pb ²⁺	Remoção de 80% de Pb ²⁺ nos primeiros 20 minutos e mais de 40% de remoção mesmo após 3h, quando a concentração inicial era de 4 ppm	SHAFIQ et al., 2021
Espuma de poliuretano carregada com o MOF UIO-66-NH ₂ , formando o composto UIO66-NH ₂ @PUF	Cr(VI)	A capacidade de adsorção de Cr(VI) foi de 92 mg/g, e após seis ciclos, a taxa de remoção de UIO-66-NH ₂ @PUF ainda atingia 79%	REN et al., 2022

No primeiro estudo analisado, ZHOU et al. (2022) utilizaram uma nova estratégia na fabricação de espumas poliméricas, neste caso, de cinzas volantes com uma estrutura porosa interconectada e tridimensional, com nanotubos de carbono de paredes múltiplas implantados, além de um enxerto de carbamato e um revestimento de polidimetilsiloxano, que formou uma camada isolante térmica efetiva na face externa de todos os nanotubos de carbono. Ainda de acordo com os autores, a espuma de cinzas volantes, mostrou uma capacidade de adsorção suficiente para Pb(II) de $51,67 \pm 1,17 \text{ mg g}^{-1}$ e de Cd(II) $30,12 \pm 0,37 \text{ mg g}^{-1}$, além das remoções descritas na Tabela 1.

Já na análise de LICONA-AGUILAR et al. (2022), os autores buscaram remover íons metálicos de Pb, Cd, Zn and Cu, por meio de carvões ativados (CAs) - com ativação química em meio ácido, seguido de ativação em alta temperatura (500 e 700 °C) - de bagaço de cana-de-açúcar (BC) e casca de laranja (CL), usados para produção de espumas. A espuma produzida de CL obteve a melhor eliminação, em comparação com BC, com valores para Pb de $95.2 \pm 3.96\%$ e $94.7 \pm 4.88\%$ para Cu, com valor ideal de pH=5. Os autores puderam com sucesso, em um caso, reduzir a concentração de chumbo e cobre para 2,4 e 2,6 mg L⁻¹, respectivamente.

O trabalho de SHAFIQ et al. (2021) se baseou em uma espuma de poliuretano revestida com MXene carregado negativamente, adsorvendo via interação eletrostática e mecanismos de troca iônica o Pb²⁺, sendo esta técnica

eficiente, barata, leve e ecologicamente correta. No estudo haviam três camadas alternadas de MXene e Quitosana, obtendo a remoção de 80% de Pb^{2+} nos primeiros 20 minutos e mais de 40% de remoção mesmo após 3h, quando a concentração inicial era de 4 ppm.

O quarto artigo analisado foi o dos autores REN et al. (2022), que inovaram ao utilizarem estruturas metal-orgânicas (EMOs), normalmente muito instáveis em soluções aquosas, para produzir um composto unindo o UIO-66-NH₂ (Zr-EMO), de reconhecida capacidade de adsorção de íons de metais pesados, com a espumas de poliuretano, vantajosa como uma rede porosa, de peso leve e com sítios de ligação abundantes, formando o composto UIO66-NH₂@PUF. Os resultados determinaram que a cinética e as isotermas de adsorção indicaram que a capacidade de adsorção de Cr(VI) foi de 92 mg/g, e após seis ciclos, a taxa de remoção de UIO-66-NH₂@PUF ainda atingia 79%.

4. CONCLUSÕES

Visto o exposto acima, é possível concluir que a utilização de espumas de poliuretano com diferentes adaptações na remoção de diferentes tipos de metais pesados é considerada uma técnica não apenas eficaz, mas também, sustentável e por muitas vezes de baixo custo. Devem ser exploradas novas oportunidades para fabricar novos tipos de espumas associadas a diferentes materiais, que podem apresentar excelente desempenho de remoção e reciclagem.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Joana C. et al. Chromium removal from contaminated waters using nanomaterials—a review. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 118, p. 277-291, 2019.
- BOTELHO, Louise Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão e sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.
- CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, AM dos; CLARO, N. S. Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, p. 159-164, 2009.
- LICONA-AGUILAR, Á. I. et al. Reutilization of waste biomass from sugarcane bagasse and orange peel to obtain carbon foams: Applications in the metal ions removal. **Science of the Total Environment**, v. 831, p. 154883, 2022.
- MONIE, Florent et al. Self-foaming polymers: Opportunities for the next generation of personal protective equipment. **Materials Science and Engineering: R: Reports**, v. 145, p. 100628, 2021.
- REN, Longfang et al. Stable and recyclable polyporous polyurethane foam highly loaded with UIO-66-NH₂ nanoparticles for removal of Cr (VI) in wastewater. **Polymer**, v. 255, p. 125117, 2022.
- RODRIGUES, Jocielys Jovelino; SILVA, Thiago Pereira da. OS METAIS PESADOS E MEIO AMBIENTE: UMA ABORDAGEM CTS NO ENSINO DE QUÍMICA. **V Congresso Nacional de Educação - V CONEDU**. 2018.
- SHAFIQ, Qamar et al. Rational design of MXene coated polyurethane foam for the removal of Pb^{2+} . **Materials Letters**, v. 304, p. 130600, 2021.
- ZHOU, Wei et al. Heavy metal ions and particulate pollutants can be effectively removed by a gravity-driven ceramic foam filter optimized by carbon nanotube implantation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 421, p. 126721, 2022.