



AValiação DA ELETROADSORÇÃO DE ÍONS COBRE EM LEITO POROSO DE CARVÃO ATIVADO

Palavras-Chave: ELETROADSORÇÃO, REMOÇÃO DE COBRE, LEITO FIXO

Autores(as):

MATHEUS DE LUCENA FACIONE PEREIRA, FEQ – UNICAMP

Prof. Dr. AMBRÓSIO FLORÊNCIO DE ALMEIDA NETO, FEQ – UNICAMP

INTRODUÇÃO

Os metais pesados são uma classificação de metais que possuem determinadas características. Estes elementos são poluentes e em geral tóxicos, podendo causar diversos efeitos colaterais no corpo humano, à exemplo desordens respiratórias, no sistema nervoso e rins, além de diversos outros.^[1] Ademais, a contaminação de recursos hídricos e atmosféricos por metais pesados é um problema presente no cotidiano industrial que devido à bioacumulação pode fazer que o descarte de pequenas concentrações de água não tratada atinja concentrações prejudiciais em nichos ambientais mais elevados.

Entre os metais pesados citados, está o cobre, um metal muito valioso e de uso predominante na indústria, utilizado para diversos fins. Devido sua presença comum na indústria e diversos processos nos quais está presente, o cobre é um contaminante comum e que apresente risco à saúde mesmo a baixas concentrações, tóxicos ao ser humano a partir de 5 mg.L^{-1} , e efluentes que o contenham devem ser tratados antes de serem descarregados no meio ambiente.^[2,3,4]

Entre as formas de tratamento de água para remoção de íons metálicos está a adsorção, um método muito comum de tratamento e purificação devido seu baixo custo e elevada eficiência, filiado à elevada qualidade dos efluentes tratados (Costa et al., 2021; Freitas et al., 2018). Porém, a adsorção apresenta limitações e uma forma de suprir suas falhas é a aplicação de potencial elétrico sobre o sistema, pois aumenta a quantidade de adsorbato capaz de ser removido e poder ser um processo altamente seletivo, em função do sistema utilizado e potencial aplicado^[5]. Com isso, este trabalho estudou a eletroadsorção de íons Cu(II) utilizando como matriz de leito o carvão ativado, um dos adsorventes mais utilizados industrialmente.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação do adsorvente

Para ser realizada eletroadsorção, o material adsorvente deve ser condutor elétrico, para que haja passagem de corrente elétrica no material e ocorra o efeito da carga elétrica no aprimoramento do processo. Ao início dos ensaios, observou-se que o carvão ativado presente no laboratório não conduz corrente elétrica, portanto, desenvolveu-se um tratamento do material de forma a torná-lo condutor, sem prejudicar suas características como área superficial.

O procedimento realizado foi a reação do material com ácido clorídrico (HCl), 2 horas à temperatura ambiente com agitação constante, seguido de tratamento térmico em estufa por 2 dias. O procedimento está esquematizado na Figura 1.

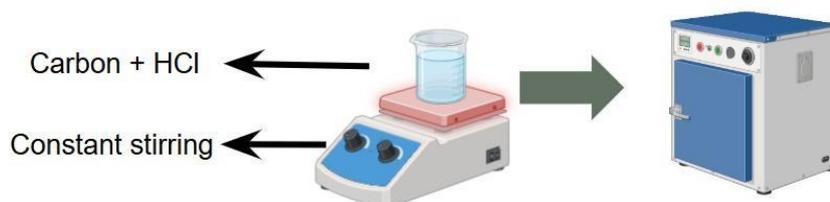


Figura 1: Esquema do tratamento do adsorvente.

O material obtido foi analisado com método BET para obter-se área superficial, diâmetro de poros e informações correlatas sobre a estrutura do carvão. Ademais, foram obtidas imagens por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da imagem para caracterização.

Curvas de Ruptura

Foram realizados ensaios seguindo o planejamento fatorial 2^2 da Tabela 1 utilizando solução de Cu(II) de concentração de 60 mg.L^{-1} e pH em torno de 4,84.

Tabela 1: Variáveis do planejamento experimental

	Níveis	-1	0	+1
Variáveis				
Vazão (mg.min^{-1})		1	1,5	2
Potencial Elétrico (V)		1	3	5

Para obter as curvas de eluição foram preparadas soluções de Cu(II) com concentração de 60 mg.L^{-1} a partir de CuSO_4 . Em seguida, através do sistema representado na Figura 2, coletou-se alíquotas de 3 mL da solução após percorrer o leito, analisadas em UV-VIS, obtendo-se as concentrações de saída. Com isto, foi possível construir as curvas de ruptura para estudar o processo.

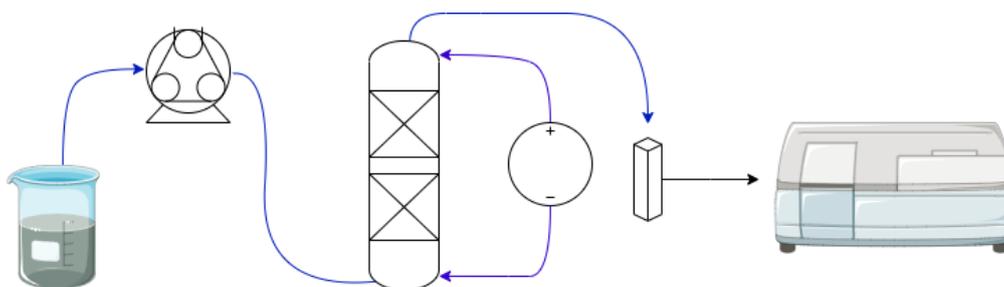


Figura 2: Esquema do sistema de adsorção utilizado.

Curvas de Eluição

Ao final da obtenção das curvas de ruptura, adaptou-se a limpeza de Costa e Neto^[6] interrompendo-se a aplicação de potencial elétrico e passando 25 mL de água destilada pelo sistema, visando remover a solução presente no meio e íons fracamente adsorvidos. Com isso, utilizou-se uma solução de EDTA 0,2 mol.L⁻¹ para realizar a remoção dos íons adsorvidos coletando alíquotas e as analisando-as no UV-VIS de forma análoga ao esquema da Figura 2.

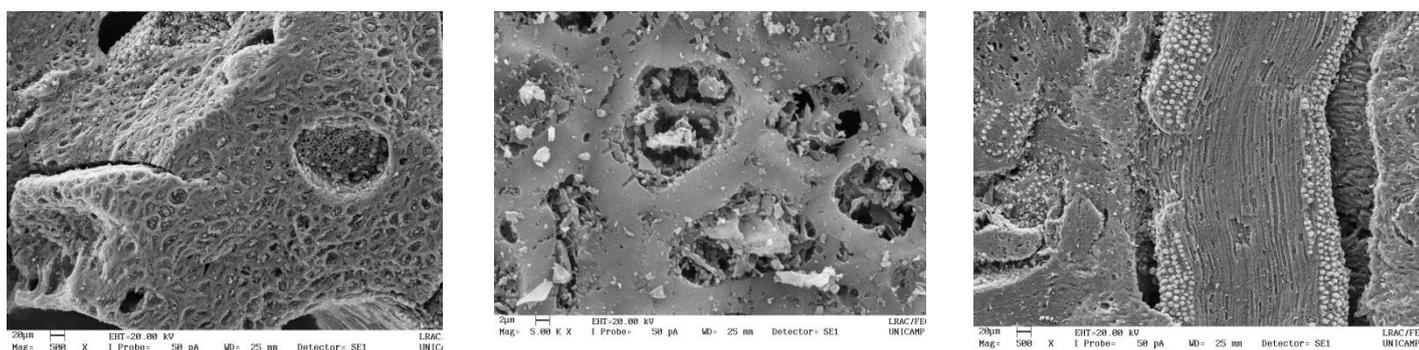
Análise de resultados

Os resultados obtidos foram analisados utilizando o software Statistica através do método ANOVA, gráficos de Pareto e construção da superfície de resposta, além de análise do modelo obtido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamento do Carvão ativado

O tratamento do carvão ativado resultou em um material microporoso com área de 481,0577 m².g⁻¹ e diversos formatos de poros, cilíndricos, planares e amorfos. O diâmetro médio de poro 1,5965 nm. É possível observar a morfologia do material na Figuras 3.



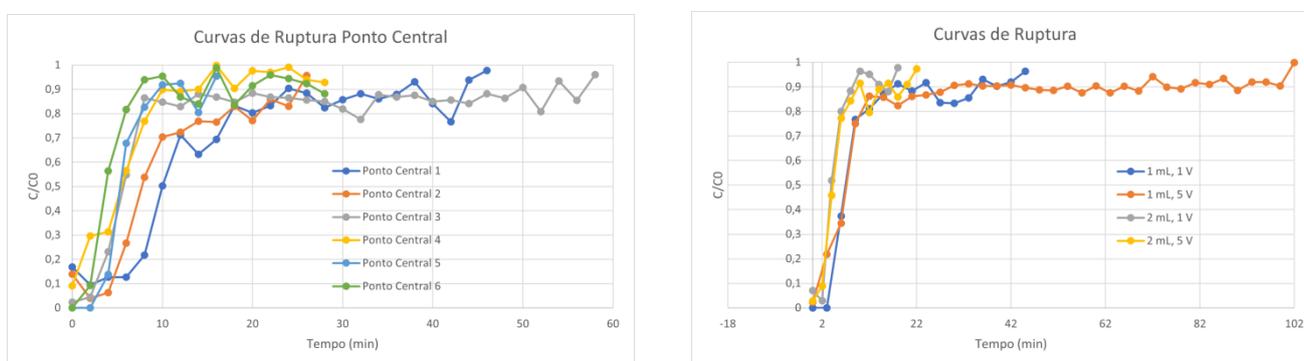
Figuras 3: Imagens obtidas por MEV do material utilizado no leito pós-tratamento.

Com a caracterização do material, ficou evidente que o tratamento manteve elevada área superficial, desejado para os processos eletroadsortivos e que há diversidade nos formatos de poros, sua característica de microporos para melhor eficiência de processos adsortivos também foi mantida.

Com isso, o tratamento que, pelo método analisado fez a corrente elétrica que percorre o material subir de 0 mA para (38 ± 11) mA.

Curvas de Ruptura e Cobre eletroadsorvido

Analisando as curvas de ruptura da Figura 4, é possível observar as diferenças entre as curvas obtidas para o ponto central, mostrando que o processo possui uma variação grande entre replicações. O valor médio de massa de cobre adsorvida para o estudo é de $584,26 \pm 85,89 \text{ mg}_{\text{adsorbato}} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{adsorvente}}$. Também é possível verificar que não foi possível calcular a zona de transferência de massa (ZTM), pois tanto as replicatas do ponto central quanto as maiores vazões e menores potenciais estudados apresentaram um processo iniciado com o leito rompido, ou seja, concentração da saída do leito acima de 5%, o que impossibilita a obtenção da ZTM.



Figuras 4: Curvas de ruptura de eletroadsorção.

Ademais, as curvas de ruptura mostraram diferenças entre os tempos de adsorção e a mudança desse fator, tanto com as variações de vazão, quanto de potencial. Porém, pelas análises estatísticas, obteve-se que os parâmetros estudados não apresentam significância estatística para construção de um modelo, isto pode ocorrer devido à variação dos parâmetros ter sido muito pequena (de 1 para 2 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$ e de 1 a 5V) e nesta região a resposta estar em um platô (variação pequena) como pode ser observado na Figura 5.

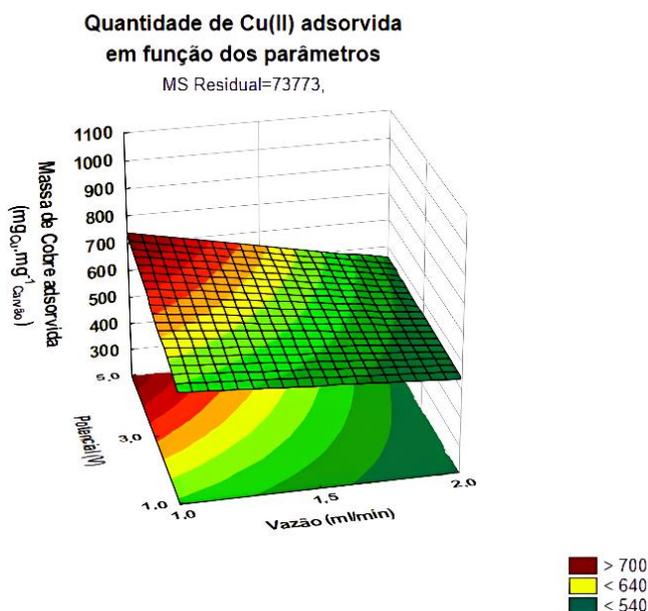


Figura 5: Superfície de resposta obtida para o processo.

CONCLUSÃO

Por fim, a análise das curvas de ruptura mostrou que há, de certo, um efeito associado à variação de vazão e de potencial elétrico. Porém, neste estudo encontrou-se que o efeito sobre a massa adsorvida é pouco significativo, no intervalo de vazão e de potencial, sendo necessário estudar maiores intervalos destes para ser possível obter um modelo satisfatório e significativo do processo. Também é evidente que, não há impactos sobre a quantidade adsorvida, a aplicação de potencial interferiu no tempo de ocorrência do processo, fator muito interessante para se aplicar industrialmente.

BIBLIOGRAFIA

1. Kapoor, Dhriti, and Mahendra P. Singh. **Heavy Metals in the Environment**. p. 179–189, 2021
2. Committee on Copper in Drinking Water. **Copper in Drinking Water**. Washington DC, National Academies Press, 2000.
3. Al-Saydeh, Sajeda A., et al. **Copper Removal from Industrial Wastewater: A Comprehensive Review**. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 56p. 35–44, 2017.
4. Liu, Yongming, et al. **Removal of Copper Ions from Wastewater: A Review**. International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 20, 2023.
5. Costa, Javan Grisente dos Reis da, et al. **Recent Advances and Future Applications in Electro-Adsorption Technology: An Updated Review**. Journal of Environmental Chemical Engineering, vol. 9, p. 106355, 2021
6. Costa, Javan Grisente dos Reis, Ambrósio Florêncio de Almeida Neto. **A Innovative Approach to Metal Removal in Cryogels Using Electrical Potential in a Fixed Bed System**. Journal of Hazardous Materials Advances, vol. 17, p. 100549, 2025.