

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

REMOÇÃO DE SULFATO DOS EFLUENTES DA MINERAÇÃO DE LÍTIO, POR MEIO DE PROCESSO DE ADSORÇÃO COM BIOTEMPLATES

Izabela Rodrigues Cerqueira Lima Azevedo¹ & Nilce Ortiz²

Abstract: Lithium is currently considered the “oil of the future” since its compounds have a wide variety of applications. Effluents are generated during the lithium extraction and beneficiation process, with sulfate being the main contaminant. After removal, lithium can be reused, generating environmental and financial gains. The objective of this study was to develop an adsorption process for removing sulfates from lithium mining effluents using: biomass of the cyanobacterium *Spirulina platensis* and micronized biochar activated with $ZnCl_2$, as biomolds. The optimization of the adsorption and sulfate removal parameters was obtained by using synthetic solutions of the effluent together with the adsorber mass prepared from the activation of microalgae and biochar with zinc chloride. The results that presented the highest removal percentages confirmed that the pseudo-second-order kinetics obtained the greatest correspondence. The particle size was observed by laser diffraction granulometric analysis (Malvern), and the biomold with *Spirulina* presented a diameter of 500 μm , while the adsorber synthesized with biochar presented an average diameter of 150 μm . Based on the work carried out, it is concluded that it is possible to achieve removals above 90% of sulfate with treatment of the studied effluent under laboratory conditions and lithium concentration above 60%. The use of biochar and spirulina activated with $ZnCl_2$ resulted in a material with excellent properties to be used in adsorption processes, providing an alternative for the treatment of effluents.

Resumo: Atualmente, o lítio está sendo considerado o “petróleo do futuro”, uma vez que seus compostos possuem uma ampla variedade de aplicações. No processo de extração e beneficiamento do lítio são gerados efluentes, sendo sulfato, o principal contaminante. Após a remoção, o lítio poderá ser reutilizado, gerando um ganho ambiental e financeiro. O objetivo deste estudo foi desenvolver um processo de adsorção para remoção de sulfatos dos efluentes da mineração de lítio empregando: biomassa da cianobactéria *Spirulina platensis* e biocarvão micronizado ativados com $ZnCl_2$, como biomoldes. A otimização dos parâmetros de adsorção e remoção do sulfato foi obtida por meio do emprego de soluções sintéticas do efluente juntamente com a massa do adsorvedor preparado a partir da ativação da microalga e do biocarvão com o cloreto de zinco. Os resultados que apresentaram as maiores porcentagens de remoção confirmaram que a cinética de pseudosegunda ordem obteve a maior correspondência. O tamanho das partículas foi observado pela análise granulométrica por difração a laser (Malvern), sendo que o biomolde com a *Spirulina* apresentou um diâmetro de 500 μm já o adsorvedor sintetizado com biocarvão apresentou diâmetro médio de 150 μm . Com base no trabalho realizado, conclui-se que é possível atingir remoções acima de 90% do sulfato com tratamento do efluente estudado em condições laboratoriais e concentração de lítio acima de 60%. A utilização do biocarvão e a espirulina ativados com o $ZnCl_2$, resultou em um material com excelentes propriedades para ser empregado em processos de adsorção proporcionando uma alternativa para o tratamento dos efluentes.

Palavras-Chave – lítio; adsorção; biomoldes.

1) IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – CEP 05508-000. São Paulo – SP (11)997155382 e izabelarclima@yahoo.com.br

2) IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – CEP 05508-000. São Paulo – SP (11)982376129 e nortizbr@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o mineral lítio é considerado o “petróleo do futuro” ou até mesmo o “ouro branco”, uma vez que seus compostos possuem uma ampla variedade de aplicações, como: na constituição de graxas lubrificantes, baterias de íon-lítio, formulações farmacêuticas, cerâmicas, vidros, na energia nuclear, incluindo o processo de fusão e outras indústrias. A mineração de lítio e outros metais – usados em eletrônica e no armazenamento de energia – está pronta para uma década de transformação industrial à medida que os investimentos são direcionados ao futuro das energias renováveis.

O lítio é um elemento químico relativamente simples com relação a sua estrutura atômica, pois apresenta apenas 3 prótons. Porém, a simplicidade não impede de se destacar como valioso insumo multiuso. Vega (2020) explica que o lítio natural é composto por dois isótopos estáveis, o Li^6 (lítio-6) e o Li^7 (lítio-7), sendo este último o de maior abundância isotópica (acima de 90%). Os isótopos de um elemento químico, especificamente no caso do lítio, apresentam propriedades químicas e físicas semelhantes. “No entanto, se comportam como substâncias completamente diferentes quando utilizados em aplicações na área nuclear”.

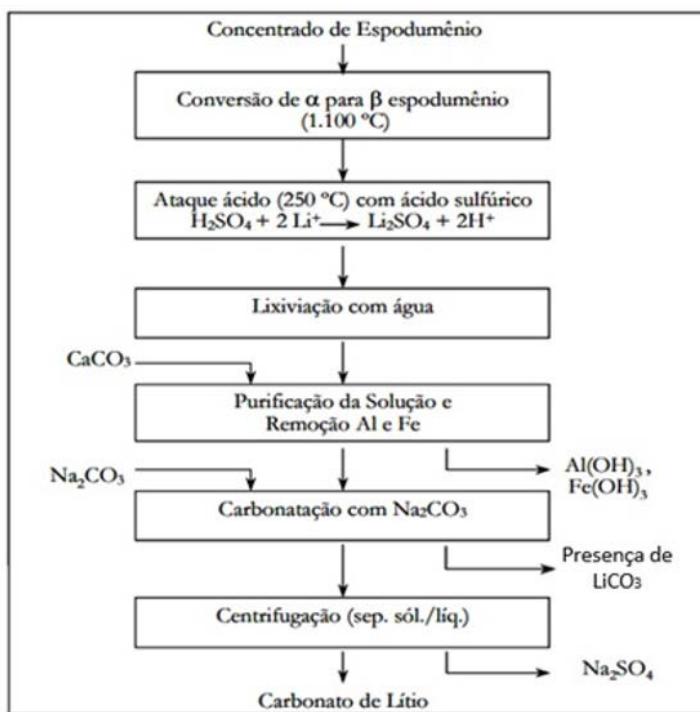
O Li^6 é empregado na produção secundária dos dispositivos termonucleares, utilizados como combustíveis em reatores de fusão nuclear. Já o Li^7 é usado na refrigeração da água do circuito primário dos reatores nucleares de potência de Reator de Água Pressurizada, PWR (Pressurized Water Reactor), para manter o pH constante. As usinas Angra I e Angra II utilizam o isótopo 7, hoje importado. Está previsto seu uso também na operação do reator de Angra III, no futuro. Dessa forma, é estratégico para o Brasil ter autossuficiência na produção do lítio e seus isótopos Vega (2020).

Como os outros metais alcalinos de grupo na tabela periódica (sódio, potássio, rubídio e césio), o lítio é muito reativo e nunca ocorre como elemento puro na natureza, e mesmo combinado, está longe de ser abundante. Na crosta terrestre, encontra-se bastante distribuído, sendo-lhe atribuída uma percentagem da ordem de 0,004% na forma mineral ou como sal estável Kunasz (2006).

A ocorrência do lítio está associada às rochas pegmatíticas, que no Brasil estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. Podemos citar como exemplo, a lavra subterrânea de minério de lítio, que usa os pegmatitos em Araçuaí/Minas Gerais, no qual o concentrado de lítio produzido é transferido para a fábrica em Divisa Alegre, também em MG, onde é transformado em carbonato e hidróxido de lítio.

O espodumênio, de fórmula química $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, é um dos minérios mais importantes para a obtenção do lítio em nosso país, possuindo de 1,5 a 7,0% de Li Vega (2020). Após as etapas de beneficiamento, conforme Figura 1, o produto resultante ou concentrado já foi eliminado quase a totalidade do Al e do Si. O Na^+ , Ca^{2+} e os outros elementos alcalinos e alcalinoterrosos continuam em quantidades significativas devido às semelhanças do comportamento químico desses elementos e o lítio Oliveira (2020). As aplicações comerciais poderão demandar etapas adicionais de purificação para a separação/minimização de Na^+ e Ca^{2+} remanescentes.

Figura 1 - Processo da mineradora para a obtenção do carbonato de lítio.



Fonte: Adaptado de: Luz e Lins (2008).

Atualmente o carbonato de lítio, Li_2CO_3 , é a matéria prima mais utilizada para a fabricação de baterias de lítio, cuja indústria é o maior consumidor Oliveira (2020). Para a aplicação na indústria de baterias, é necessário que o Li_2CO_3 tenha pureza superior a 99,5% e para aplicação na área nuclear, superior a 99,9%. Assim, os métodos de purificação precisam ser muito eficientes de modo a obter o Li_2CO_3 de elevada pureza Linneen *et al.* (2019).

Os métodos de purificação visam à remoção de sulfatos e outros contaminantes do processo de produção gerado. A recuperação do lítio, originados no processo de beneficiamento que se inicia com o espodumênio até a obtenção do carbonato de lítio, foi desenvolvida por processo de adsorção com biotemplates de microalgas e biocarvão aditivados com $ZnCl_2$.

2. OBJETIVO

O presente estudo buscou o desenvolvimento de processos de adsorção para remoção de sulfatos de efluentes da mineração de lítio, empregando: biomassa da cianobactéria *Spirulina platensis*, biocarvão micronizado e $ZnCl_2$ ativado, com biomoldes. Visa também avaliar a influência da adição de $ZnCl_2$ e o potencial da utilização de biotemplates no aumento da eficiência do processo de adsorção e remoção de contaminantes presentes em efluentes da mineração do lítio. Além de atrelar dois pontos principais:

1. A valoração dos efluentes da mineração de lítio, utilizando biotemplates com zinco como aditivo para a remoção de contaminantes, como os sulfatos.
2. A recuperação do lítio de efluentes dos processos de mineração.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os biotemplates se comportam como gabaritos que usam estruturas orgânicas como moldes de elevada área superficial para o desenvolvimento do material de interesse Nomura *et al.* (2015); Michael-Kordatou *et al.* (2018). Vários materiais micrométricos e nanométricos têm sido obtidos a partir de biotemplates.

O biocarvão poderá ser obtido em plantios de eucalipto de reflorestamento localizado próximo à mineração e as microalgas poderão ser cultivadas na própria planta de mineração ou adquiridas comercialmente. Ambos materiais são acessíveis. Diversos materiais podem ser usados como biotemplates: madeira, fibras, celulose, papel, folhas, juta, algodão, fungos, bactérias, casca de ovo etc. Geralmente são materiais de custo acessível e disponíveis em escala comercial Cui *et al.* (2009).

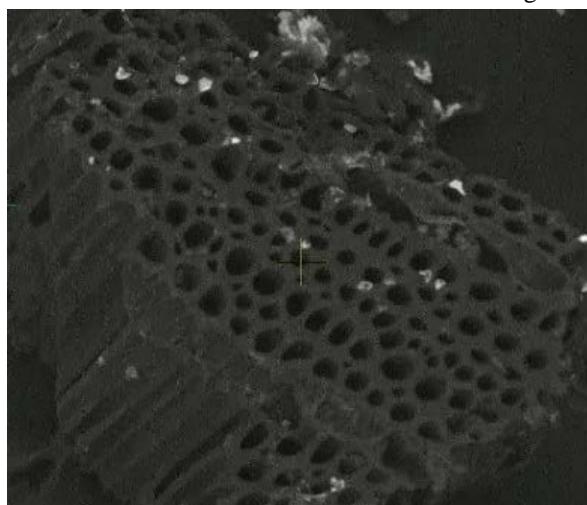
O uso de biotemplates aliado à precipitação homogênea do cloreto de zinco promove a formação de microestrutura ordenada com elevada área superficial aumentando a eficiência do material adsorvedor, que pode ser atribuído principalmente à estrutura porosa e como consequência da área superficial.

A ativação visa melhorar as características de porosidade e área superficial do adsorvente, por meio da eliminação dos produtos de decomposição que bloqueiam os poros Rocha *et al.* (2006). Dois diferentes métodos de ativação têm sido utilizados: a ativação física e a ativação química González-García (2018).

A ativação química é realizada, geralmente, pela impregnação prévia do material precursor com um agente ativante, sendo posteriormente realizado o tratamento térmico em temperaturas entre 400 e 1000°C. Dentre os agentes ativantes mais utilizados encontrados na literatura, pode-se citar o cloreto de zinco ($ZnCl_2$), ácido sulfúrico (H_2SO_4), hidróxido de potássio (KOH) e ácido fosfórico (H_3PO_4) González-García (2018).

O $ZnCl_2$ é um agente ativante e primeiramente causa a degradação do material celulósico presente no precursor do carvão ativado e, durante a carbonização, atua como agente desidratante promovendo a extração de moléculas de água, resultando na aromatização do esqueleto carbônico e criação da estrutura porosa Uçar *et al.* (2009); Yahya *et al.* (2015), como pode ser comprovado na Figura 2, onde foi realizada a microscopia eletrônica de varredura no material utilizado nos ensaios.

Figura 2 - Micrografia em baixo vácuo do biocarvão com $ZnCl_2$ com magnificação original de 5000 vezes.



Fonte: A autora, 2024.

4 CÁLCULO CINÉTICO

O estudo da cinética é de fundamental importância, visto que a cinética controla a eficiência da operação de adsorção, fornece informações sobre a velocidade em que a adsorção acontece e sobre as interações que ocorrem na interface adsorbato-adsorvente Crini e Badot (2008). Alguns dos modelos cinéticos mais utilizados são os modelos de pseudoprimeira ordem, pseudosegunda ordem e Elovich.

O modelo cinético de pseudoprimeira assume que a adsorção ocorre como consequência de um gradiente de concentração entre a superfície do adsorvente e a solução, e pode ser expresso de acordo com a Equação 1 Ho e Mckay (1998); Qiu *et al.* (2009).

$$q_t = q_1(1 - \exp(-k_1 t)) \quad (1)$$

Onde q_t é a capacidade de adsorção no tempo t (mg g^{-1}), k_1 é a constante cinética de pseudoprimeira ordem (min^{-1}) e q_1 é a capacidade de adsorção obtida através do modelo de pseudoprimeira ordem (mg g^{-1}).

O modelo cinético de pseudosegunda ordem acopla na mesma equação os coeficientes interno e externo de transferência de massa e, geralmente, é adequado em processos de quimissorção. Este modelo pode ser expresso de acordo com a Equação 2 Ho e Mckay (1998); Qiu *et al.* (2009).

$$q_t = \frac{t}{(1/k_2 q_2^2) + (t/q_2)} \quad (2)$$

Onde k_2 é a constante cinética de pseudosegunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) e q_2 é a capacidade de adsorção obtida através do modelo de pseudosegunda ordem (mg g^{-1}).

O modelo de Elovich é adequado em processos que envolvem quimissorção e quando a velocidade de adsorção decresce com o tempo devido à cobertura da camada superficial. Este modelo pode ser representado pela Equação 3 Ho e Mckay (1998); Qiu *et al.* (2009).

$$q_t = \frac{1}{a} \ln(1 + abt) \quad (3)$$

Onde a é a velocidade inicial do modelo de Elovich e b é a constante de dessorção do modelo de Elovich (g mg^{-1}), que indica a extensão da cobertura da superfície.

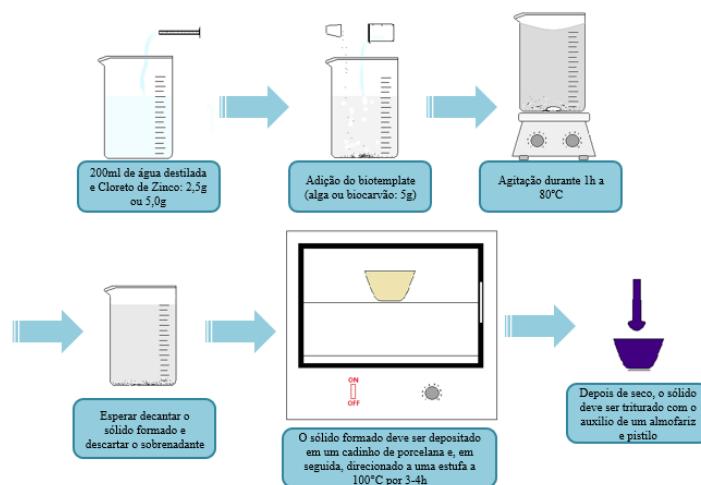
5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Processo de síntese do adsorvedor – biotemplate e cloreto de zinco

O processo de síntese do adsorvedor foi desenvolvido por meio da adição de dois biomoldes, a espirulina e o bocarvão micronizado. Foi empregado o aditivo ZnCl_2 para o aumento da porosidade e área superficial. O ZnCl_2 foi hidrolisado sob agitação constante por 1 hora a aproximadamente 80°C com o biotemplate escolhido (Figura 3).

Após esse processo, a suspensão formada decantará por algumas horas. O líquido sobrenadante foi então descartado e o precipitado levado para secagem.

Figura 3 - Diagrama do processo de obtenção do ZnCl₂ ativado.

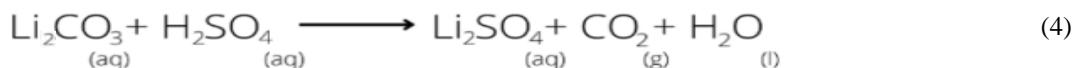


Fonte: A autora, 2024.

5.2 Descrição dos ensaios

Os parâmetros do processo de adsorção estudados foram: proporção mássica do cloreto de zinco, biocarvão e espirulina, tempo de ensaio, valores de pH e temperatura do sistema. No intervalo total de 1 hora foram realizadas as coletas das alíquotas para análise e determinação das concentrações do sulfato e do lítio para o controle do desenvolvimento do processo.

As soluções de sulfato de lítio empregadas nos processos de adsorção para a retirada do contaminante sulfato, foram preparadas a partir do carbonato de lítio fornecido pela CBL – Companhia Brasileira de Lítio. Abaixo temos a reação do carbonato de lítio com ácido sulfúrico produzindo: sulfato de lítio com desprendimento de gás (Equação 4).



5.3 Processo de adsorção em coluna

O processo de adsorção foi realizado em coluna da seguinte forma: solução de sulfato de lítio com concentração de 9g/L preparado em laboratório e em concentração semelhante ao efluente real de uma barragem de rejeitos de mineração de lítio, juntamente com 1g do material adsorvedor ativado com cloreto de zinco e meio filtrante (1cm de algodão) no leito para barrar o escape do adsorvedor.

Foram retiradas alíquotas a cada 20 minutos de eluição da coluna, com vazão de 3ml/min, para a leitura de lítio no ICP-OES (Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado) e de sulfato na Cromatografia de Íons.

5.4 Processo de adsorção em batelada

O processo de adsorção foi realizado também em batelada com volume de 500ml, da seguinte forma: solução de sulfato de lítio com concentração de 9g/L preparado em laboratório, juntamente com 1g do material adsorvedor (ZnCl₂ ativado) sob agitação constante e controle de temperatura.

Foram retiradas alíquotas a cada 20 minutos e as mesmas foram filtradas para posterior leitura de lítio no ICP-OES e de sulfato na Cromatografia de Íons.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação de tamanho de partículas, foi utilizando o equipamento Malvern Mastersizer, que se baseia na técnica de espalhamento de luz.

A análise granulométrica realizada no equipamento Malvern, que utiliza a técnica de espalhamento de luz laser de baixo ângulo (LALLS - Low Angle Laser Light Scattering), conhecida genericamente por “espalhamento de luz”, surgiu na metade dos anos 70 e sua instrumentação teve grande desenvolvimento nos últimos 20 anos Rawle (2002). Este método de análise de tamanho de partículas, também conhecido como difração laser, consiste na medição dos ângulos de difração do raio laser, que são relacionados ao diâmetro da partícula.

O biomolde com a *Spirulina* variou de 0,5 μ m a 1000 μ m e 65% da amostra apresentou diâmetro de 500 μ m. Já o biomolde com a biocarvão variou de 1,5 μ m a 1000 μ m e 55% do volume da amostra apresentou um diâmetro de 150 μ m.

Os ensaios realizados tanto em coluna como em batelada, com concentrações de carbonato de lítio de 10g/L e 19g/L, se encontram nas tabelas 1 e 2 e apresentam os resultados obtidos por meio da leitura de sulfato e lítio por cromatografia de íons.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios realizados em batelada, contendo a porcentagem de remoção de sulfato e porcentagem de aumento de lítio.

Ensaio	Adsorvedor	Proporção (adsorvedor/ZnCl ₂)	Ci (sulfato) mg/L	>C sulfato mg/L	% Remoção sulfato	Ci (lítio) mg/L	<C lítio mg/L	% Aumento lítio
1	biocarvão	1/0,5	25,8	22,9	11,2	3,5	4	12,5
2	Alga	1/0,75	25,3	23,2	8,3	2,0	2,5	20
3	biocarvão	1/0,75	25,3	23,3	7,9	2,0	2,5	20

Fonte: A autora, 2024.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios realizados em coluna, contendo a porcentagem de remoção de sulfato e porcentagem de aumento de lítio.

Ensaio	Adsorvedor	Proporção (adsorvedor/ZnCl ₂)	Ci (sulfato) mg/L	>C sulfato mg/L	% Remoção sulfato	Ci (lítio) mg/L	<C lítio mg/L	% Aumento lítio
1	alga	1/0,5	25,3	23,5	7,1	2,0	2,6	23,1
2	biocarvão	1/0,5	25,3	25,6	-1,2	2,0	2,6	23,1
3	alga	1/0,5	25,8	56,3	-118,2	3,5	14,4	75,7
4	biocarvão	1/0,5	25,8	33,3	-29,1	3,5	6,9	49,3

5	alga	1/0,75	25,8	22,3	13,6	3,5	5	30,0
6	biocarvão	1/0,75	25,8	22,8	11,6	3,5	5	30,0
7	alga	1/1,0	25,8	17,5	32,2	3,5	3,9	10,3
8	biocarvão	1/1,0	25,8	22,1	14,3	3,5	4,4	20,5

Fonte: A autora, 2024.

De acordo com as tabelas acima, dois ensaios apresentaram aumento máximo na concentração de lítio da ordem de 49,3 e 75,7%. Estes ensaios foram realizados utilizando uma concentração de 9g/L de sulfato de lítio, pH de 2,5 - 3,0, e um adsovedor com proporção mássica de 1:0,5 (adsorvedor: cloreto de zinco), tempo de ensaio de 60 minutos e uma temperatura média de 45°C.

Foi possível observar que os ensaios com aumento de temperatura apresentaram melhores resultados para a concentração de lítio, porém também houve aumento na concentração de sulfato para esses ensaios. Os demais ensaios foram realizados sem aumento de temperatura e variaram entre 22 e 27°C, porém não apresentaram resultados satisfatórios.

O ensaio que apresentou a maior porcentagem de remoção de sulfato foi de 32,2% e realizado com uma concentração de 9g/L de sulfato de lítio, pH de 4,5 - 3,0, e um adsovedor com proporção mássica de 1:1 (adsorvedor: cloreto de zinco), tempo de ensaio de 60 minutos e uma temperatura média de 23,6°C, ou seja, maior pH e menor temperatura.

Ensaios com aumento de temperatura, aquecendo a solução antes de entrar na coluna, foram realizados e apresentamos abaixo os melhores resultados. As temperaturas variaram de 44 a 49°C, a remoção de sulfato apresentou uma média de 90% e a concentração de lítio da ordem de 65%, tanto em batelada quanto em coluna e com os biomoldes de biocarvão e *spirulina*.

Os cálculos cinéticos confirmaram que o modelo cinético de pseudosegunda ordem foi o que mais correspondeu com os resultados experimentais, ou seja, a etapa limitante é a adsorção dos reagentes na superfície do biotemplate. A Tabela 3 demonstra os ensaios que apresentaram remoção acima de 89% com 1 g de biotemplate tanto com a microalga quanto com o biocarvão.

Tabela 3 – Ensaios que apresentaram melhores resultados de remoção que foram selecionados para a realização do estudo cinético.

Ensaio	Adsorvedor	Tipo	Proporção (adsorvedor/ZnCl ₂)	Concentração (g.L ⁻¹)	Temperatura (°C)	% Remoção sulfato	% Aumento lítio
1	biocarvão	batelada	1/0,5	12	48,67	88,97	61,55
2	alga	coluna	1/1	12	45,23	88,99	65,41
3	alga	coluna	1/0,5	12	44,20	90,06	65,60

Fonte: A autora, 2024.

8 CONCLUSÕES

Os resultados confirmam que a utilização do biocarvão e *Spirulina*, ativados com ZnCl₂ preparado em laboratório, resultou em um material com excelentes propriedades para ser empregado

em processos de adsorção, utilizando soluções sintéticas de sulfato de lítio a partir do carboanto de lítio.

Os ensaios foram realizados utilizando uma concentração mínima de sulfato de lítio de 9g/L, sendo esta a mesma concentração encontrada em uma barragem de rejeitos de uma mineradora de lítio, localizada no norte de Minas Gerais.

As medidas para determinação da eficiência na remoção de sulfato e aumento da concentração de lítio, foram realizadas pelo método ICP-OES e cromatografia de íons e demonstraram média de concentração do lítio superior a 75% e remoção de 90% do sulfato. Desse modo, os biotemplates demonstraram elevado potencial visando o reaproveitamento do lítio.

Os resultados que apresentaram as maiores porcentagens de remoção confirmaram que a cinética de pseudosegunda ordem obteve a maior correspondência.

Foi observado pela técnica Malvern que o tamanho das partículas de biomolde com a Spirulina variou de 0,5 μ m a 1000 μ m e 65% do volume da amostra apresentou um tamanho de 500 μ m. Já o biomolde com a biocarvão variou de 1,5 μ m a 1000 μ m e 55% do volume da amostra apresentou um tamanho de 150 μ m.

O tratamento e remoção de sulfato por meio de processo adsorptivo proporcionará às empresas mineradoras de lítio, uma alternativa para o tratamento dos efluentes gerados diminuindo o volume dos rejeitos em sua bacia e podendo reaproveitá-los e comercializá-los.

REFERÊNCIAS

- CRINI, G.; BADOT, P.-M. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies : A review of recent literature. **Progress in Polymer Science**, v. 33, p. 399– 447, 2008.
- CUI, J., HE, W., LIUC, H., LIAOA, S. YUE, Y. Ordered hierarchical mesoporous anatase TiO₂ from yeast biotemplates. **Elsevier**, v. 74, p. 274-278. 2009.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, P. Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 1393–1414, 2018.
- HO, Y. S.; G. MCKAY. Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by wood. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 76, p. 183–191, 1998.
- KUNASZ, I. (2006). Lithium Resources. In: Industrial Mineral and Rocks, 7th Edition, Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M. and Krukowsk, S. T. (Seniors Editors), Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, p. 599-613.
- LINNEEN, N.; BHAVE, R.; WOERNER, D. Purification of industrial grade lithium chloride for the recovery of high purity battery grade lithium carbonate, **Separation and Purification Technology**. v. 214, p. 168-173, 2019.
- LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F.; SAMPAIO, J. A. **Rochas e Minerais Industriais usos e especificações**. CETEM, 2^a edição revisada e ampliada, 2008. P. 585 – 603.

MICHAEL-KORDATOU, I; KARAOLIA, P.; FATTA-KASSINOS, D. **The role of operating parameters and oxidative damage mechanisms of advanced chemical oxidation processes in the combat against antibiotic-resistant bacteria and resistant genes present in urban wastewater.** *Water Research*, v.129, p. 208-230. 2018.

NOMURA, T., BANDO, M., KONISHI, Y. Facile fabrication of hollow titania microparticles using wet yeast cells as templates. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v.487, p.215-220. 2015.

OLIVEIRA, G. A. C. d. **Purificação do carbonato de lítio utilizando a técnica de troca iônica.** 2020. 95 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP, São Paulo. Disponível em: 16/02/2022.

QIU, H; LV, LU; PAN, BING-CAI; ZHANG, QING-JIAN; ZHANG, WEI-MING; ZHANG, QUAN-XING. CRITICAL REVIEW IN ADSORPTION KINETIC MODELS. **JOURNAL OF ZHEJIANG UNIVERSITY SCIENCE A**, V. 10, P. 716–724, 2009.

RAWLE, A. The importance of particle size to the coating industry Part I: Particle size measurement. *Advances in colour science and technology*, v. 5, n. 1, January, 2002, p. 1-12.

ROCHA, R.; SOARES, O.; FIGUEIREDO, J.; PEREIRA, M. Tuning CNT Properties for Metal-Free Environmental Catalytic Applications. *Journal of Carbon Research*, v. 2, n. 3, p. 17, 2016.

UÇAR, S.; ERDEM, M; TAY, T; KARAGÖZ, S. Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl₂ activation. **Applied Surface Science journal**, v. 255, p. 8890–8896, 2009.

VEGA, O. Utilização do lítio na indústria nuclear gera parceria entre IPEN/CNEN e Companhia Brasileira de Lítio. Disponível em:

https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=38&campo=14844#:~:text=O%20Instituto%20de%20Pesquisas%20Energ%C3%A9ticas%20e%20Nucleares,que%2099%2C99%20%20E2%80%93%20ter%20sido%20bem%20sucedida.

Acesso em: 02/09/2024.

YAHYA, M. A.; AL-QODAH, Z.; NGAH, C. W. Z. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 46, p. 218–235, 2015.