

Desenvolvimento de materiais geopoliméricos expandidos para a remoção de metais em meio aquoso

Gabriela D. Marques, Cecília V. S. Rocha, Flávia C. C. Moura*

*Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais. flaviamoura@ufmg.br

Resumo/Abstract

RESUMO - Geopolímeros (GPs) são aluminosilicatos ativados alcalinamente que têm sido amplamente estudados devido ao seu baixo custo, resistência ao fogo e à corrosão, alta durabilidade, síntese fácil e com baixas emissões de CO₂. Na última década, esses materiais foram utilizados em uma ampla gama de aplicações, incluindo cerâmicas refratárias, suporte fotocatalítico, novos cimentos e adsorventes. Metais potencialmente tóxicos como níquel, chumbo e cobalto, estão presentes em muitos lugares do meio ambiente, sobretudo devido a ações e atividades humanas, como a produção de ligas metálicas em diferentes indústrias. Quando acumulados no solo ou na água, podem prejudicar a biodiversidade, degradar a qualidade da água em rios, lagos e represas. Em resposta a esse problema, várias soluções vêm sendo estudadas para a remoção desses metais de meios aquosos. Neste trabalho desenvolvemos geopolímeros expandidos (GPs) com propriedades adsorventes, por um processo de síntese sustentável. O material demonstrou uma capacidade de adsorção promissora, atingindo uma remoção de 99% para o chumbo e superior a 70% para cobalto e o níquel nos testes de adsorção realizados.

Palavras-chave: Geopolímeros, adsorção, metais pesados.

ABSTRACT - Geopolymers (GPs) are alkali-activated aluminosilicates that have been widely studied due to their low cost, fire and corrosion resistance, high durability, ease of synthesis, and low CO₂ emissions. Over the past decade, these materials have been used in a wide range of applications, including refractory ceramics, photocatalytic support, novel cements, and as adsorbents. Potentially toxic metals such as nickel, lead, and cobalt are present in many areas of the environment, mainly due to human actions and activities such as the production of metal alloys in various industries. When accumulated in soil or water, these metals can harm biodiversity and degrade water quality in rivers, lakes, and reservoirs. In response to this issue, various solutions have been studied for the removal of these metals from aqueous media. In this work, we developed expanded geopolymers (GPs) with adsorptive properties through a sustainable synthesis process. The material showed promising adsorption capacity, achieving 99% removal of lead and over 70% for cobalt and nickel in the adsorption tests performed.

Keywords: Geopolymers, adsorption, heavy metals.

Introdução

A presença de metais potencialmente tóxicos no meio ambiente ocorre, principalmente, devido a atividades humanas relacionadas à produção industrial de ligas metálicas. Sua dispersão em corpos d'água pode causar sérios danos ambientais e comprometer a qualidade de vida e a saúde de comunidades adjacentes a esses afluentes [1]. A exposição em longo prazo a metais potencialmente tóxicos, como o chumbo, o cobalto e o níquel, tem sido associada ao desenvolvimento de diversas doenças em humanos, incluindo distúrbios neurológicos, respiratórios e cardiovasculares. O chumbo é um metal estudado por sua toxicidade cumulativa, sendo capaz de afetar o sistema nervoso central, especialmente em crianças, nas quais pode provocar déficits cognitivos e comprometimento no desenvolvimento neurológico. Em adultos, a exposição crônica ao chumbo está associada à disfunção renal,

hipertensão arterial, imunossupressão, além de ser prejudicial às funções cardíacas. A contaminação ambiental por níquel e cobalto, em longo prazo, pode ter sérios efeitos sobre o meio ambiente e na qualidade de vida de plantas, animais e seres humanos. Em grandes quantidades, a exposição pode prejudicar as atividades metabólicas das plantas, inibindo atividades enzimáticas e fotossintéticas, afetar processos de nitrificação do solo e, em contato prolongado com seres humanos, provocar alergias, doenças respiratórias e ter efeitos carcinogênicos.

Com o intuito de mitigar os efeitos dessas contaminações, diversos materiais vêm sendo estudados para a remoção de metais do meio aquoso. Dentre as alternativas, destacam-se os geopolímeros, materiais à base de aluminossilicatos que possuem propriedades adsorventes. Considerados uma solução sustentável, geopolímeros apresentam capacidade de interação com íons metálicos, estabilidade química e potencial para

utilização em processos de tratamento de efluentes, contribuindo para a redução dos impactos ambientais causados pela presença de metais em meio aquoso [2].

Experimental

Síntese e caracterização dos geopolímeros

O geopolímero utilizado foi sintetizado a partir do precursor metacaulim como fonte de aluminossilicatos sólidos, com razão $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 3,0 e incorporação de 1% de H_2O_2 durante a síntese. O metacaulim foi obtido por meio da calcinação do caulim a 700 °C durante 4 h em um forno tubular. A síntese dos GPs foi realizada misturando o metacaulim a uma solução ativadora composta por água deionizada, Na_2SiO_2 , NaOH e H_2O_2 . Após a mistura, o material resultante foi colocado em processo de cura em temperatura ambiente por 7 dias, sendo interrompida com a adição de acetona ao término desse período. Os geopolímeros foram caracterizados por análise termogravimétrica, difração de raios X, fissorção de N_2 , e espectrofotometria na região do infravermelho.

Testes de adsorção

Foram realizados testes de contato e de cinética com soluções dos metais Pb^{2+} , Co^{2+} e Ni^{2+} em concentrações de 250 ppm. O geopolímero foi adicionado às diferentes soluções dos metais, que permaneceu em agitação constante em um agitador orbital por períodos entre 15 min. e 24 h. A remoção dos metais foi analisada a partir da comparação das concentrações iniciais e finais das soluções obtidas, a partir de análise de espectrometria de absorção atômica.

Resultados e Discussão

O difratograma de raios X do caulim, um sólido cristalino, exibe picos característicos de caulinita e quartzo. Após o tratamento térmico, apresenta-se uma fase amorfa e um aumento de intensidade entre 15° e 35°. O que também pode ser observado para o geopolímero (Figura 1a). A análise por espectroscopia na região do infravermelho apresenta bandas atribuídas às vibrações de Si-O e Al-O em todos os três materiais. As bandas associadas aos grupos O-H são observadas no caulim e no geopolímero, enquanto o metacaulim não apresenta essa absorção devido à eliminação da água durante o tratamento térmico (Figura 1b). A análise termogravimétrica do geopolímero apresentou perda de massa de aproximadamente 8,5% até 220 °C, o que indica a perda de água.

Após as caracterizações, foram realizados ensaios de adsorção para avaliar a capacidade de remoção após 24 horas de contato, e a cinética de adsorção em diferentes tempos (Figura 2).

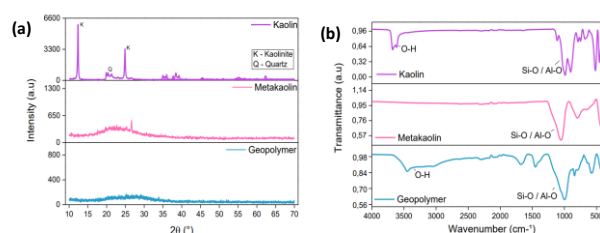


Figura 1. (a) Difrátogramas de Raios X do Caulim, metacaulim e geopolímero, e (b) Espectroscopia na região do infravermelho ATR do caulim, metacaulim e geopolímero.

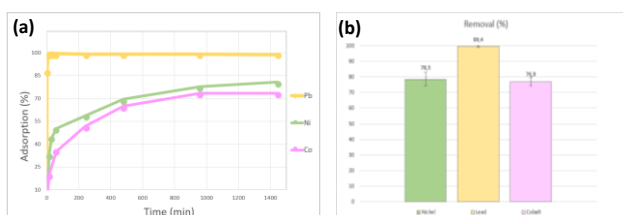


Figura 2. (a) Remoção de Pb^{2+} , Ni^{2+} e Co^{2+} em função do tempo de contato, e (b) Porcentagem de remoção após 24 horas de contato.

Após 24 horas de contato, foi observada a remoção de 99% de Pb, 77% de Co e 79% de Ni pelo geopolímero (Figura 2). Através do ensaio cinético pôde-se analisar a relação de adsorção em função do tempo de contato. Foi observado um ajuste ao modelo de pseudo-segunda ordem o que sugere uma velocidade de reação dependente dos sítios ativos presentes no geopolímero e da concentração do metal em solução, $V = k[\text{Ads}][\text{M}^{2+}]$.

Conclusões

Geopolímeros com propriedades adsorventes demonstraram um desempenho promissor na adsorção de metais pesados de meio aquoso. A pesquisa está em desenvolvimento, com o objetivo de investigar a capacidade de adsorção para outros metais e contaminantes emergentes como corantes, antibióticos e antirretrovirais.

Agradecimentos

À Fapemig, CNPq e a Rede Mineral/Fapemig pelo fomento.

Referências

1. M. Kosiorek, M. Wyszowski, *M. Appl. Ecol. Environ. Res.* **2019**, 17, 11419–11449.
2. P. Cong, Y. Cheng, *J. of traffic and Transp. Eng.* **2021**, 8, 283-314.