



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025**

SÍNTESE DE COMPÓSITOS A BASE DE LODO DE ESGOTO **DOMÉSTICO E LAMA DE MÁRMORE PARA REMOÇÃO DE FOSFATO**

Lana Santos Silva Bezerra¹; Tereza Simonne Mascarenhas Santos² Mariana
Mendes Costa Oliveira³

1. Bolsista – Modalidade Bolsa/PVIC, Graduando em Nome do Curso, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: lanassbezera@gmail.com
2. Orientador, Departamento de nome, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: terezan.santos@uefs.br
3. Pós-graduanda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: marianameseca@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: fosfato;lodo de esgoto;lama de mármore.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aumentou o fluxo de fósforo nos corpos d'água através de resíduos agrícolas e industriais, causando eutrofização antropogênica. Esse processo resulta em crescimento excessivo de algas, redução do oxigênio e proliferação de cianobactérias tóxicas que podem causar problemas de saúde (Matthiensen; Yunes; Codd, 2013). As tecnologias atuais de tratamento no Brasil não removem fósforo adequadamente. A adsorção surge como alternativa eficaz e de baixo custo, utilizando lodo de esgoto como adsorvente devido às suas propriedades favoráveis (Arzu et al., 2013). Para otimizar a remoção de fosfato, propõe-se um compósito de lodo de esgoto com lama de mármore rica em carbonato de cálcio (Neves, 2021). Este estudo visa investigar a cinética de adsorção para remoção de íons-fosfato, oferecendo solução sustentável que aproveita dois resíduos problemáticos.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

O lodo de esgoto utilizado foi coletado durante as atividades do plano de trabalho “Avaliação das características físico-químicas do lodo de esgoto durante o processo de desidratação no leito de secagem”. A lama de mármore foi coletada no APL de rochas Bege-Bahia (Ourolândia-BA). Ambos materiais foram peneirados em malha 80 mesh para uniformização granulométrica. O compósito foi preparado na proporção 1:9 (lama de mármore:lodo de esgoto). A lama de mármore foi suspensa em água deionizada (25 mL/10g), adicionada ao lodo e agitada em shaker orbital (200 rpm, 30 min). A suspensão foi aquecida sob agitação (50-70°C), seca em estufa (105°C) e calcinada a 700°C por 1 hora. As amostras foram caracterizadas por análise termogravimétrica, fluorescência de raios-X e difração de raios-X. Os ensaios de adsorção foram realizados com 0,30g do compósito em 30 mL de solução de fosfato (25 mg L⁻¹), em diferentes tempos de contato (15 a 1440 min) sob agitação orbital. As soluções foram filtradas (0,45 µm) e analisadas por espectrofotometria UV-VIS (880 nm, método do ácido

ascórbico). Os dados foram ajustados aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Elovich.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Difração de raios-X

A análise por DRX das amostras (LED - lodo não calcinado, LEDCA - lodo calcinado, LM - lama de mármore não calcinada, LMCA - lama de mármore calcinada e CLM - compósito calcinado) revelou significativas transformações mineralógicas decorrentes do processo de calcinação a 700°C.

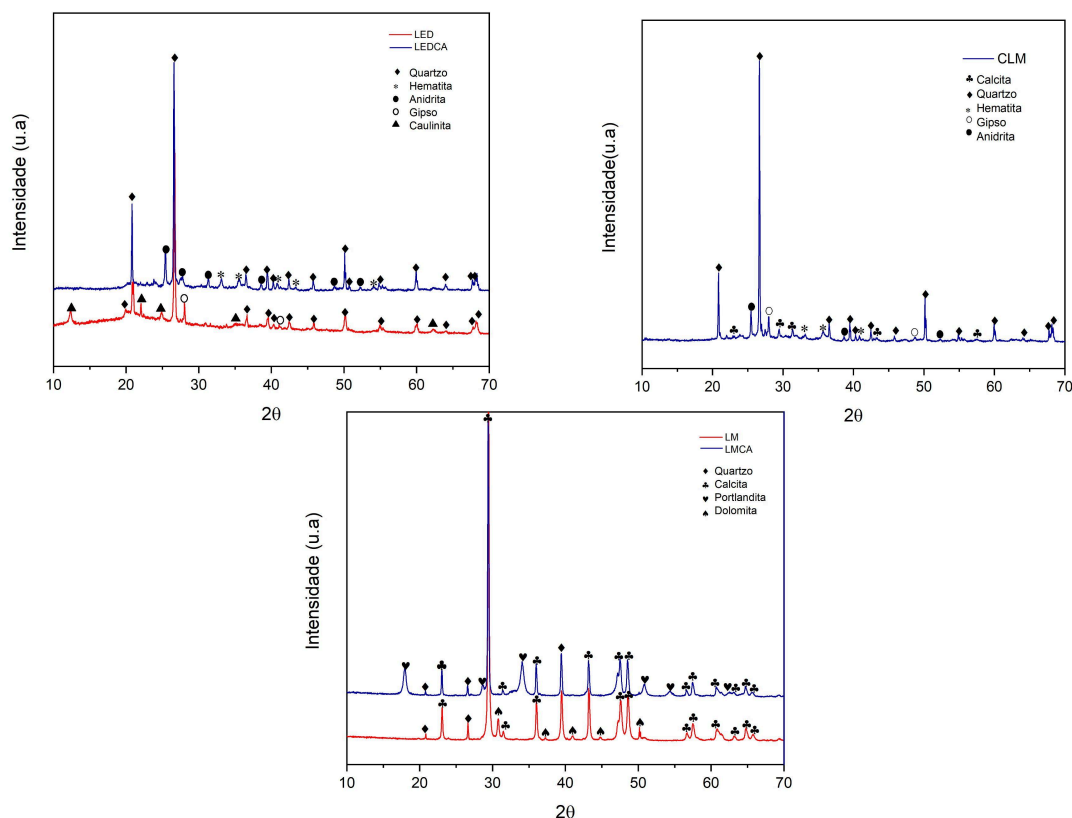


Figura 1. Difração de raios-X

A lama de mármore não calcinada (LM) apresentou picos característicos de calcita (CaCO_3) como fase dominante, com pico principal em $2\theta \approx 29,4^\circ$, além de quartzo (SiO_2), dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] e portlandita [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]. Após calcinação a 700°C (LMCA), a decomposição térmica da calcita resultou na formação de cal viva (CaO) que rapidamente se carbonata ao ar formando calcita secundária e/ou se hidrata formando portlandita. O lodo não calcinado (LED) apresentou picos característicos de quartzo, calcita, gipso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e compostos de ferro de baixa cristalinidade, além de um halo amorfo no difratograma, potencialmente proveniente de compostos carbonáceos. Após calcinação (LEDCA), o difratograma apresentou características de material cristalino, sugerindo decomposição da matéria orgânica. Outras transformações incluíram formação de hematita (Fe_2O_3), conversão de gipso em anidrita (CaSO_4) e decomposição de calcita. A análise semi-quantitativa do compósito lodo-mármore

(CLM) indicou composição de: quartzo (39%), calcita (1%), hematita (56%) e anidrita (4%).

Cinética de adsorção

A curva de cinética de adsorção do compósito CLM mostrou crescimento acentuado nos primeiros 240 minutos (1,55 para 1,99 mg g⁻¹), devido à rápida ocupação dos sítios ativos superficiais pelo elevado gradiente de concentração. Entre 240-600 min, a adsorção desacelerou progressivamente até 2,28 mg g⁻¹, o que pode ser atribuído à saturação parcial dos sítios de adsorção. Após 600 min, o sistema estabilizou próximo ao equilíbrio com capacidade máxima de 2,32 mg g⁻¹ e taxa de remoção de 95,4%.

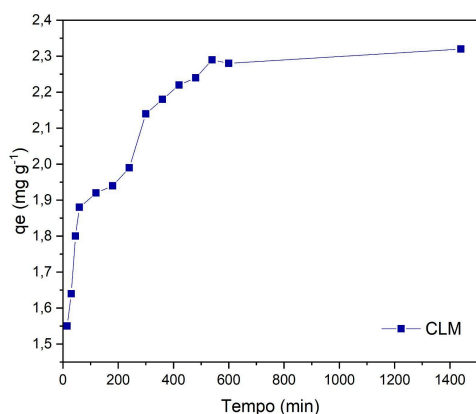


Figura 2. Cinética de adsorção

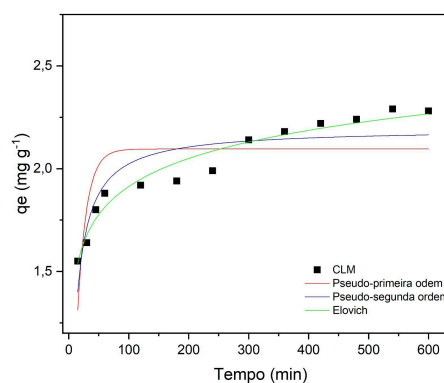


Figura 3. Ajuste aos modelos matemáticos

A análise quantitativa dos dados experimentais foi realizada por meio do ajuste não-linear aos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Elovich. Os resultados mostraram diferenças significativas na capacidade de descrição do processo de adsorção.

Tabela 1. Parâmetros cinéticos

Modelos cinéticos	Equação do modelo	Parâmetros dos modelos
Pseudo-primeira ordem	$qt = q_e(1 - e^{-k_1 t})$	$K_1 = 0,06558 \pm 0,01$ $q_e = 2,09578 \pm 0,05$ $R^2 = 0,53774$
Pseudo-segunda ordem	$qt = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t}$	$K_2 = 0,05354 \pm 0,01$ $q_e = 2,19502 \pm 0,04276$ $R^2 = 0,81568$
Elovich	$qt = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha \beta t + 1)$	$a = 31,95629 \pm 18,4085$ $b = 5,06703 \pm 0,31674$ $R^2 = 0,95925$

O modelo de pseudo-primeira ordem apresentou o menor coeficiente de determinação ($R^2 = 0,537$), evidenciando ajuste insatisfatório e indicando que o processo não segue cinética simples de primeira ordem, na qual a velocidade dependeria unicamente da concentração do adsorbato disponível.

O modelo de pseudo-segunda ordem apresentou desempenho superior ($R^2 = 0,816$), sugerindo que a taxa de adsorção pode estar associada a mecanismos de quimissorção, envolvendo interações químicas específicas entre o fosfato e os sítios ativos da superfície do compósito, possivelmente por meio de ligações covalentes ou trocas eletrônicas.

O modelo de Elovich apresentou o melhor ajuste aos dados ($R^2 = 0,959$), indicando que o processo de adsorção é mais bem descrito por um mecanismo heterogêneo, no qual a superfície do adsorvente possui distribuição variada de energias de ativação para adsorção. Este resultado reforça a hipótese de que o compósito CLM apresenta sítios ativos de diferentes naturezas e afinidades pelo fosfato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

O compósito lodo de esgoto-lama de mármore (CLM) demonstrou alta eficiência na remoção de fosfato, atingindo 95,4% de remoção e capacidade de $2,32 \text{ mg g}^{-1}$. A análise por DRX revelou fases cristalinas (quartzo, hematita, anidrita, calcita) que contribuem para os sítios ativos de adsorção. O modelo de Elovich apresentou o melhor ajuste ($R^2 = 0,959$), indicando mecanismo complexo envolvendo quimissorção e heterogeneidade superficial. Os resultados evidenciam o potencial de transformar resíduos sólidos em adsorventes sustentáveis, contribuindo simultaneamente para a mitigação da poluição por fósforo, prevenção da eutrofização e gestão de resíduos dentro dos princípios da economia circular. Recomenda-se continuidade das pesquisas incluindo regeneração do adsorvente, influência de parâmetros operacionais e aplicação em efluentes reais.

REFERÊNCIAS

ARZU, Y.; OZLEM, T.; GULSAD, U.; GULBEYI, D.; YUSUF, S. Kinetics of Remazol Black B adsorption onto carbon prepared from sugar beet pulp. **Environmental Science Pollutant Resource**, v. 20, n. 20, p. 2472-2483, 2013.

MATTHIENSEN, A.; YUNES, J. S.; CODD, G. A. Ocorrência, distribuição e toxicidade de cianobactérias no estuário da Lagoa dos Patos, RS. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, p. 361-376, 1999.

NEVES, M. A. et al. Lama de beneficiamento de rochas ornamentais processadas no Espírito Santo: composição e aproveitamento. **Revista Geociências**, v. 40, n.1 p. 123-136, 2021.