



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

REMOÇÃO DO CORANTE VIOLETA CRISTAL UTILIZANDO ZEÓLITA PRODUZIDA A PARTIR DE CINZA DE CARVÃO COMO ADSORVENTE

Barbara Potrich Zen - barbarapzen@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Guilherme de Souza - guilherme-souza@cientec.rs.gov.br
Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC)

Fernanda Siqueira Souza - fernanda.souza@unilasalle.edu.br
Universidade La Salle

Nilson Romeu Marcílio - nilson@enq.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Liliana Amaral Féris - liliana@enq.ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Resumo: O objetivo do presente trabalho foi sintetizar zeólitas a partir de cinzas de carvão e utilizá-las na remoção de corante violeta cristal em soluções aquosas via processo de adsorção. Para isso sintetizou-se zeólita a partir de cinzas de carvão de combustão em planta piloto de leito fluidizado. A síntese foi feita pelo método hidrotérmico, utilizando NaOH 3 mol L⁻¹ como agente mineralizante, relação líquido/sólido (L/S) igual a 6 e tempo de reação de 24 h a 100 °C. O valor de área superficial BET encontrado foi de 40 m² g⁻¹ com tamanho de poros na faixa de 4 nm. Os ensaios de adsorção do corante foram conduzidos avaliando a influência do pH, tempo de contato e concentração de sólido adsorvente. Ainda, foram construídas isotermas de adsorção para esses sistemas e os modelos de isotermas de Langmuir, Freundlich e BET modificado foram ajustados aos dados experimentais. Os resultados mostraram que a máxima remoção de corante alcançada foi de 85 % nos estudos do efeito do tempo de contato, e as melhores condições experimentais obtidas foram de 60 min e 15 g L⁻¹ de concentração de sólido adsorvente. O modelo de isotermas que melhor se ajustou aos dados experimentais foi BET modificado, com R² = 0,9894. A síntese de zeólita a partir de cinzas de carvão mostrou potencial na produção de um adsorvente alternativo para remoção do corante violeta cristal de águas contaminadas, contribuindo também para a diminuição do impacto ambiental das atividades de combustão de carvão.

Palavras-chave: Adsorção, zeólitas, cinzas de carvão, corante violeta cristal.

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

CRYSTAL VIOLET DYE REMOVAL BY ZEOLITE PRODUCED FROM COAL ASH AS ADORVENT

Abstract: *The objective of the present work was to synthesize zeolites from coal ash and apply it in crystal violet dye adsorption process in aqueous solution. For this purpose, zeolite was synthesized from coal ashes from combustion in a fluidized bed pilot plant. The synthesis was carried by hydrothermal method, using NaOH 3 mol L⁻¹ as the mineralizing agent, the liquid/solid ratio (L/S) equal to 6 and 24 hours reaction time at 100 ° C. The BET surface area value found was 40 m² g⁻¹ with pore size in the range of 4 nm. Adsorption tests were conducted to evaluating the influence of pH, contact time and adsorbent solid concentration. Still, adsorption isotherms were built for these systems and isotherm models of Langmuir, Freundlich and modified BET were fitted to experimental data. The results showed that the highest efficiency was 85% in the studies of contact time effect, and the best experimental conditions were 60 min and adsorbent solid concentration of 15 g L⁻¹. The BET isotherm model was found to be the best fit to experimental data, with R² = 0.9894. The zeolite synthesis from coal ash has shown potential in the production of an alternative adsorbent to remove the crystal violet dye from contaminated water, also contributing to reducing the environmental impact of coal combustion activities.*

Keywords: *Adsorption, zeolites, coal ashes; crystal violet dye.*

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos da queima de carvão fóssil são consequência preocupante da utilização deste recurso natural como combustível. A produção de toneladas de cinzas de carvão geradas na produção de energia elétrica é um dos principais problemas ambientais desse setor, caracterizando as usinas termoeletricas como as maiores geradoras de resíduos sólidos no mundo. No Brasil, estima-se que cerca de 4 milhões de toneladas de cinzas de carvão são produzidas anualmente nas termelétricas e no setor industrial (FUNGARO e BRUNO, 2009; ROHDE et al., 2006). A necessidade de retirar, a baixo custo, as cinzas geradas nas usinas termelétricas, fez com que fossem adotadas práticas de disposição desse resíduo em áreas inapropriadas e sem as devidas medidas de proteção ambiental. Tendo em vista essa problemática, pesquisadores vêm buscando alternativas que visam à utilização das cinzas de combustão de carvão como matéria prima para outros produtos.

A remoção de poluentes de efluentes industriais utilizando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão em processos de adsorção tem sido foco de muitos estudos, podendo-se encontrar trabalhos que pesquisam o tratamento de efluentes contaminados com metais, íons e componentes orgânicos, como corantes (QUEROL et al., 2001; MORENO et al., 2001; CARDOSO et al., 2015; JI et al., 2015).

As zeólitas de cinzas de carvão têm sido amplamente estudadas na remoção de corantes de efluentes, sobretudo aqueles originados em indústrias têxteis. Um dos maiores desafios desse setor tem sido remover a coloração de seus efluentes, uma vez que os processos biológicos de tratamento não são eficientes para remoção dos corantes, por esses não serem compostos biodegradáveis.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é sintetizar estudar a eficiência de remoção do corante violeta cristal em soluções aquosas pelo processo de adsorção utilizando zeólita sintetizada a partir de cinzas de carvão.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas cinzas volantes provenientes da combustão de carvão da Mina de Candiota (RS) em planta piloto de leito fluidizado (a 850 °C) localizada na Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC em Cachoeirinha (RS).

O método de síntese usado neste trabalho foi obtido de Cardoso (2012) que concluiu que a melhor conversão de cinzas em zeólitas ocorre quando se utiliza relação L/S igual a 6, devido a maior disponibilidade de silício e alumínio quando comparada a relações mais altas. Assim, a síntese das zeólitas foi realizada via tratamento hidrotérmico clássico, com relação líquido/sólido (L/S) igual a 6 obtida pela adição de 100 g de cinzas a 600 mL de uma solução de NaOH 3 mol L⁻¹ (72 g de NaOH analítico da marca QUIMEX em 600 mL de água destilada) em um reator de vidro borossilicato com tampa rosqueada de 1000 mL. Após 24 h de ativação hidrotérmica à temperatura de 100 °C, sem agitação, o reator foi retirado da estufa e ao atingir a temperatura ambiente, os sólidos foram filtrados com papel filtro de porosidade nominal de 45 µm em um kitassato acoplado a uma bomba de vácuo e lavados com 200 mL de água destilada. As zeólitas obtidas foram secas em estufa por cerca de 24 h a 100 °C.

A zeólita sintetizada foi analisada por Fluorescência de Raios-X (FRX), de Difração de Raios-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As análises foram realizadas na Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, Porto Alegre (RS) e nos laboratórios da Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS).

2.2. Experimentos de adsorção

Para os ensaios de adsorção estudou-se a remoção do corante violeta cristal (VC) grau analítico da marca Synth (massa molar 407,99 g mol⁻¹) em solução de água destilada. Os ensaios de adsorção em batelada foram feitos a temperatura de 25 ± 2 °C em um agitador de Wagner, com frascos de vidro borossilicato com tampa rosqueada com capacidade de 250 mL e rotação de 28 ± 2 rpm.

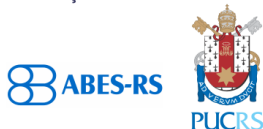
Todos os ensaios foram realizados em duplicata, com 100 mL de solução de corante violeta cristal, sendo que os efeitos de pH da solução inicial, de tempo de contato (t) e de concentração de sólidos adsorventes (C_{ss}) foram avaliados em diferentes etapas, partindo de uma solução inicial de corante (C_{VC}) de 100 mg L⁻¹. Após um determinado tempo de agitação, as soluções foram centrifugadas a 6000 rpm em tubos Falcon de 50 mL por 3 minutos, em uma centrífuga refrigerada Cientec CT-5000R, e o pH do sobrenadante foi ajustado a um valor próximo ao da solução inicial, que variava em torno de 5,0 a 6,5. A concentração final da solução remanescente foi determinada através da leitura em espectrofotômetro GENESYS 10S UV-Vis da marca Thermo Scientific, no comprimento de onda de máxima absorvância do corante violeta cristal, λ = 590 nm. A eficiência de remoção de corante para cada experimento realizado foi calculada através da diferença de concentração das soluções inicial e final.

Com a melhor condição obtida dos ensaios de pH, tempo e concentração de sólidos, realizou-se um estudo variando a concentração inicial de corante de 5 à 400 mg L⁻¹, para através de isotermas verificar o mecanismo de adsorção do sistema. Os modelos de Langmuir, Freundlich e BET modificado foram ajustados aos dados experimentais obtidos, e os parâmetros dos modelos foram calculados através do software Microsoft Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se pelas análises de FRX e DRX que os componentes majoritários das cinzas de carvão são os óxidos de silício e alumínio, o que justifica o seu uso como precursor para síntese de zeólitas. Todas as cinzas, bem como a zeólita sintetizada, apresentaram quartzo como forma cristalina principal. Identificou-se também a presença de hematita nas cinzas, o que já era esperado em função

Realização



Correalização



Informações:

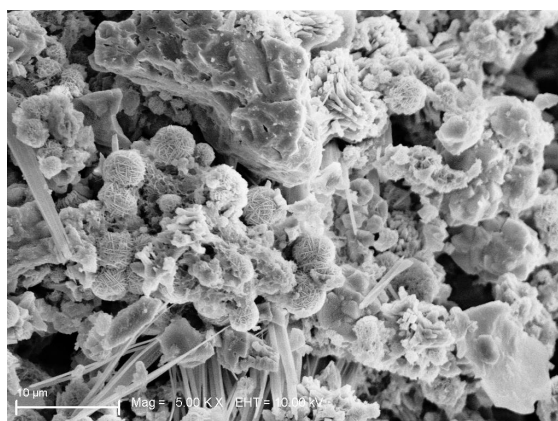
qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



da significativa quantidade de óxidos de ferro encontrada nas análises de FRX. O valor de área superficial (BET) encontrado foi de $40 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ com tamanho de poros na faixa de 4 nm, que estão de acordo com os valores apresentados na literatura para zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão (Algoufi e Hammed, 2014; Biesek et al., 2013; Cama et al, 2005).

Nas imagens de MEV da amostra de zeólita sintetizada foram identificadas formações de zeólita X em predominância, sendo possível também observar a formação de zeólita P e de zeólita sodalita.

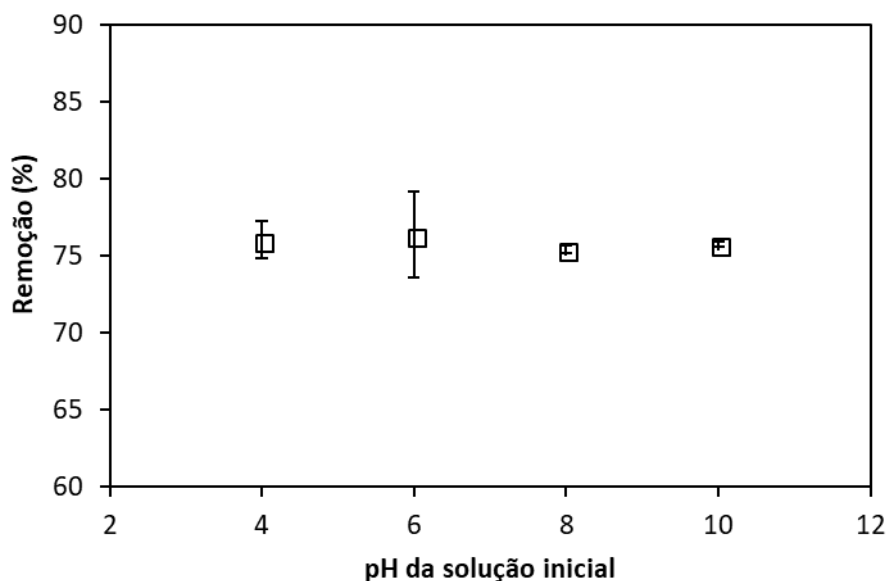
Figura 1. Imagem de microscopia eletrônica de varredura da zeólita sintetizada com aproximação de 5000 X



3.1. Influência do pH

A Figura 2 apresenta os resultados de remoção do corante Violeta Cristal em diferentes pHs avaliados (4, 6, 8 e 10).

Figura 2. Remoção do corante violeta cristal em função do pH inicial para o processo de adsorção
Condições experimentais: $t = 60 \text{ min}$, $C_{ss} = 10 \text{ g L}^{-1}$, $CVC = 100 \text{ mg L}^{-1}$, $V = 100 \text{ mL}$.





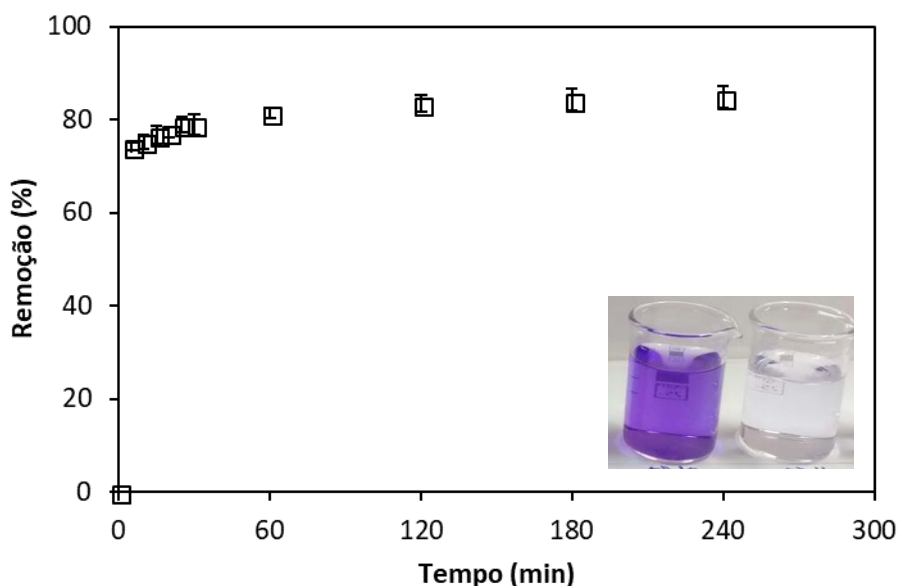
Através dos resultados mostrados na Figura 2, verifica-se que a variação do pH da solução inicial não apresentou influência significativa na remoção do poluente, visto que os valores de remoção não apresentam diferença estatística, ao nível de significância de $\alpha=0,05$.

Esse comportamento ocorre, provavelmente, em função do excesso de sódio presente nos sólidos adsorventes que eleva o pH a valores próximos a 11 imediatamente após o contato com as zeólitas. Dessa maneira, todos os ensaios de adsorção acabam ocorrendo em pH alcalino, independente do ajuste inicial. Buscando solucionar esse problema, pensou-se em ajustar o pH após o contato das soluções com as zeólitas, no entanto, para isso seria necessário um consumo exagerado de reagentes, o que não justifica o uso dessa prática. Assim, optou-se por não fazer ajuste de pH das soluções.

3.2. Influência do tempo de contato

Na Figura 3 pode-se observar a influência do tempo de contato na remoção do corante violeta cristal de soluções aquosas. Observa-se que o maior índice de remoção alcançado foi de 85 %.

Figura 3. Remoção do corante violeta cristal em função do tempo de contato para o processo de adsorção. Condições experimentais: $C_{ss}= 10 \text{ g L}^{-1}$, $CVC= 100 \text{ mg L}^{-1}$, $V= 100 \text{ mL}$.



Para determinação do tempo de operação foi realizada uma análise estatística comparando o valor de remoção do maior tempo testado com os pontos de tempos menores. Assim, utilizou-se como ponto de operação o menor tempo que não apresentou diferença estatística em relação ao maior tempo testado, considerando $\alpha=0,10$. O ponto de operação não precisa necessariamente ser um ponto em que o sistema já atingiu o equilíbrio, mas sim um ponto com alta remoção do poluente, o que justifica a escolha do nível de significância de 10 %.

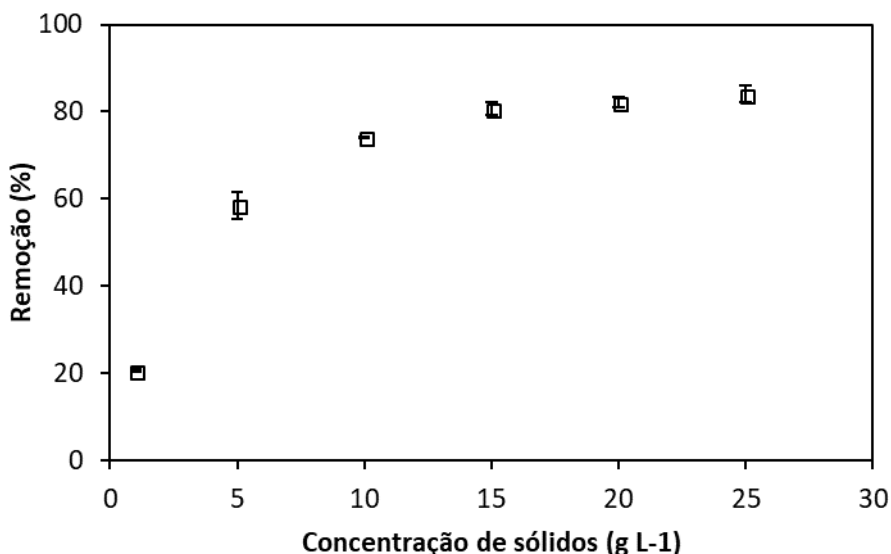
Em 60 min a zeólita sintetizada apresentou 82 % de remoção do corante, valor esse que não apresenta diferença estatística com a remoção no tempo de 240 min (85 %), considerando o nível de significância de $\alpha=0,10$. Logo, o estudo da influência da concentração de sólidos foi realizado com 60 min de agitação.



3.3. Influência da concentração de adsorvente

Os estudos de concentração de sólidos adsorventes foram avaliados fixando o tempo de agitação em 60 min, sem ajuste inicial de pH. Os resultados observados encontram-se na Figura 4.

Figura 4. Remoção do corante violeta cristal em função da concentração de sólidos adsorventes
Condições experimentais: $t = 60$ min, $CVC = 100$ mg L⁻¹, $V = 100$ mL.



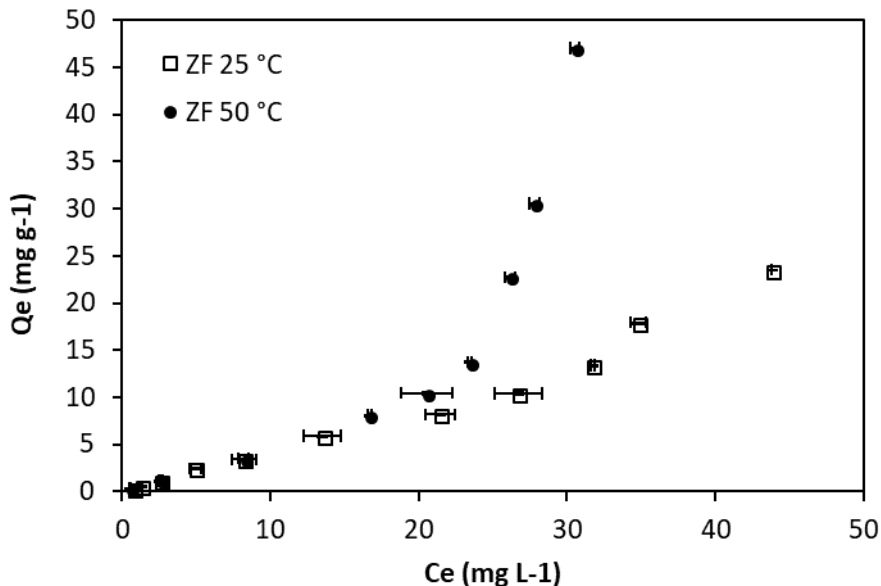
Observa-se que não há um aumento significativo na eficiência de remoção para concentrações acima de 15 g L⁻¹ de zeólita, resultado que pode ser comprovado pela análise estatística que mostra que não há diferença significativa entre as três últimas concentrações testadas, considerando $\alpha = 0,05$. Portanto, para os ensaios subsequentes fixou-se a concentração de sólidos no valor de 15 g L⁻¹.

3.4. Isotermas de adsorção

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de variação da concentração de corante da solução inicial, através de um gráfico de isotermas que relaciona a capacidade de adsorção (Q_e) e a concentração da solução no equilíbrio (C_e) para a zeólita. Verificou-se que em altas concentrações a solução de corante, quando em contato com a zeólita, forma um sobrenadante espesso após agitação prolongada, comprometendo a quantificação da capacidade de adsorção nesses pontos. Por este motivo, além da temperatura de 25°C, foi testada também a temperaturas de 50°C com o objetivo de aumentar a solubilidade do corante em solução aquosa, permitindo assim um aumento do intervalo de concentração avaliado.



Figura 5. Comparação entre as isotermas de adsorção do corante violeta cristal com a zeólita nas temperaturas de 25 °C e 50 °C. Condições experimentais: $t = 240$ min, $C_{ss} = 15$ g L⁻¹, $V = 100$ mL, $CVC = 5$ a 400 mg L⁻¹ (25 °C) e 5 a 750 mg L⁻¹ (50 °C)



Percebe-se que o aumento da concentração da solução inicial provoca um aumento na capacidade de adsorção, de maneira irrestrita, para as três zeólitas. Esse comportamento é observado em isotermas do tipo II e III, de acordo com a classificação da IUPAC. Contudo, pelo formato das curvas obtidas, que têm tendência a serem côncavas em relação ao eixo das abscissas, pode-se dizer que esses sistemas são classificados como isotermas do tipo III, que ocorrem quando as moléculas do meio têm uma força coesiva muito forte e a força de interação adsorvato/adsorvente é fraca.

Isotermas com curva côncava para cima são raras e chamadas de não favoráveis, pois decorrem de sistemas com baixa carga de poluente removido (McCABE et al., 1993). Ainda assim, observou-se valores de remoção maiores que 80 %, mesmo quando a concentração da solução inicial foi de 400 mg L⁻¹, mostrando que o processo de adsorção de violeta cristal com a zeólita sintetizada nesse trabalho é eficiente.

Pela classificação de Giles et al. (1960), as isotermas obtidas são do tipo S1, que indica que a adsorção inicial é baixa e aumenta à medida que o número de espécies adsorvidas aumenta, fenômeno chamado adsorção cooperativa. Nesse tipo de sistema, as moléculas de soluto adsorvidas em monocamada são orientadas de modo que a nova superfície formada apresente alta atração com as demais moléculas de soluto em solução.

Os modelos das isotermas de Langmuir, Freundlich e BET modificado foram ajustados aos dados experimentais de equilíbrio de adsorção do corante violeta cristal. Os valores estimados dos parâmetros dos modelos e os valores da análise estatística para a adsorção do corante violeta cristal em solução aquosa são apresentados na Tabela 1, e a comparação entre as curvas podem ser observada através das Figuras 6 e 7.



Tabela 1. Parâmetros das isotermas de Langmuir, Freundlich e BET modificado, e análise estatística para a adsorção de corante violeta cristal a 25°C e 50°C.

| Langmuir | | Freundlich | | BET modificado | |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------|
| 25°C | | | | | |
| $q_{máx}$ | 3627 | K_f | 0,15 | k | 0,012 |
| K_S | $1,31 \times 10^{-4}$ | n | 0,75 | q_m | 12,56 |
| R^2 | 0,9630 | R^2 | 0,9823 | c | 2,44 |
| Desvio Padrão (s) | 1,48 | Desvio Padrão (s) | 1,02 | K_L | 1,11 |
| | | | | R^2 | 0,9906 |
| | | | | Desvio Padrão (s) | 0,75 |
| 50°C | | | | | |
| $q_{máx}$ | 3627 | K_f | $3,84 \times 10^{-5}$ | k | 0,046 |
| K_S | $2,68 \times 10^{-4}$ | n | 0,24 | q_m | 8,74 |
| R^2 | 0,6982 | R^2 | 0,9797 | c | 0,93 |
| Desvio Padrão (s) | 8,55 | Desvio Padrão (s) | 2,22 | K_L | 0,60 |
| | | | | R^2 | 0,9894 |
| | | | | Desvio Padrão (s) | 1,12 |

Figura 6. Ajuste dos modelos teóricos de Langmuir, Freundlich e BET modificado aos dados experimentais de adsorção à 25°C.

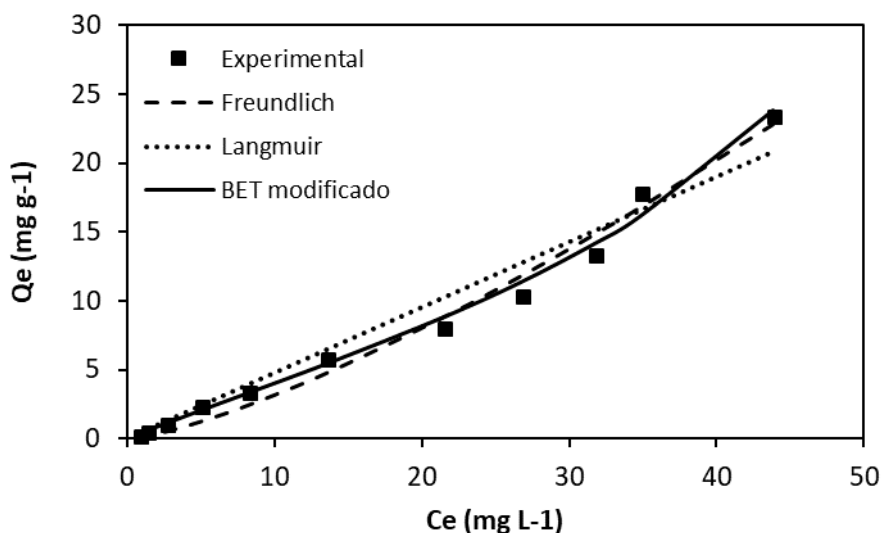
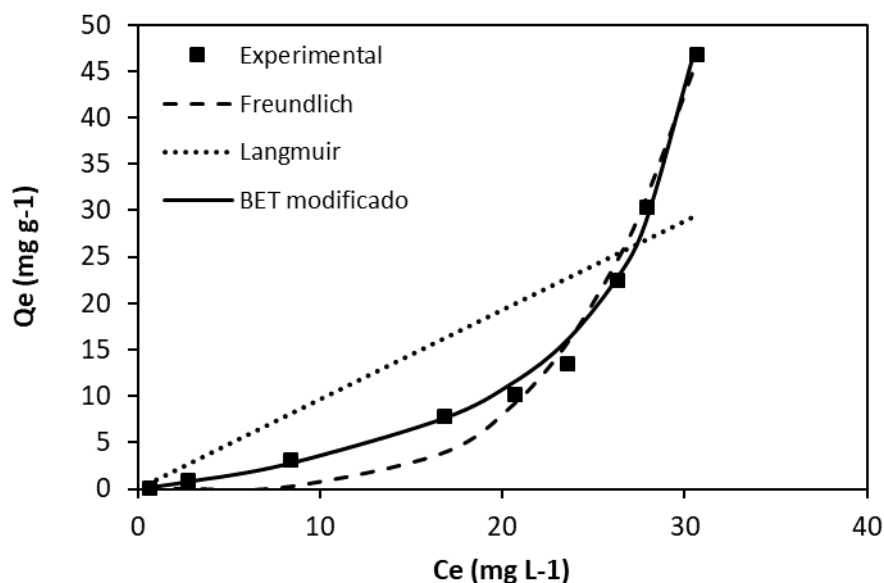


Figura 7. Ajuste dos modelos teóricos de Langmuir, Freundlich e BET modificado aos dados experimentais de adsorção à 50 °C.



Observando a curva experimental e as curvas previstas pelos modelos fica evidente que o modelo de Langmuir não se ajustou aos dados experimentais, o que também pode ser observado pelo baixo valor de $R^2 = 0,6982$, e pelo elevado valor de $q_{\text{máx}} = 3627 \text{ mg g}^{-1}$. Esse resultado já era esperado, uma vez que o modelo de Langmuir prevê a formação de apenas uma monocamada, comportamento que é caracterizado por isotermas com formação de um patamar devido à saturação do adsorvente e que não foi observado nos experimentos realizados nesse estudo.

Pela análise do R^2 , verifica-se que o modelo de Freundlich teve um bom ajuste aos dados experimentais, uma vez que esse modelo pressupõe formação de multicamadas e que não há limite para a capacidade de adsorção com o aumento de concentração do soluto, como observado pela curva experimental. No entanto, pela Figura 7 observa-se que esse modelo se aplica melhor a concentrações mais altas. Valores menores de concentração levam a desvios maiores do modelo em relação aos dados experimentais, o que justifica o valor obtido de desvio padrão igual a 2,22. O valor de $n = 0,24$ encontrado indica adsorção não favorável, resultado que corrobora com a análise feita anteriormente em relação ao formato das curvas da Figura 5 e da classificação como isotermas tipo III.

Pela análise gráfica e do coeficiente de determinação (R^2), e ainda fazendo a interpretação dos valores encontrados para os parâmetros de cada equação, concluiu-se que o modelo de BET modificado melhor se ajusta aos dados experimentais obtidos pelo processo de adsorção de corante violeta cristal com a zeólita sintetizada a partir da cinza de carvão de leito fluidizado, com $R^2 = 0,9894$ na temperatura de 50°C.

4. CONCLUSÕES

Os objetivos desse trabalho foram atingidos, uma vez que foi possível desenvolver zeólitas a baixo custo a partir de cinzas de carvão, um resíduo industrial produzido em abundância, e utilizá-las com êxito como material adsorvente no tratamento de soluções contaminadas com o corante violeta cristal.



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Os estudos mostraram que o ajuste do pH das soluções iniciais não apresentou influência na remoção de corante violeta cristal pelas zeólitas sintetizadas, uma vez que todos ensaios de adsorção ocorreram em pH alcalino em função do excesso de sódio presente nos sólidos adsorventes. Os estudos de tempo de adsorção e concentração de sólidos adsorventes apresentaram como melhor condição de processo os valores de 60 min e 15 g L⁻¹, respectivamente. A melhor eficiência de remoção foi de 85 % no estudo do efeito do tempo de contato.

Nos estudos de isotermas, definiu-se como tempo de equilíbrio os valores de 240 min de contato. Embora as formas das curvas das isotermas obtidas tenham sido do tipo III, que indica adsorção não favorável, o valor de remoção para todos os pontos testados foram maiores que 80 %, indicando que o sistema de adsorção de violeta cristal com as zeólitas sintetizadas é eficiente. Os modelos de isotermas de Langmuir, Freundlich e BET modificado foram ajustados aos dados experimentais de adsorção obtidos a 50 °C. Pela análise gráfica e do coeficiente de determinação (R²), e ainda fazendo a interpretação dos valores encontrados para os parâmetros de cada equação, concluiu-se que o modelo de BET modificado melhor se ajusta aos dados experimentais.

REFERÊNCIAS

ALGOUFI Y.T.; HAMEED, B.H. Synthesis of glycerol carbonate by transesterification of glycerol with dimethyl carbonate over K-zeolite derived from coal fly ash. **Fuel Processing Technology**, v. 126, p. 5–11, 2014.

BIESEKI, L.; PENHA, F. G.; PERGHER, S. B. C. Zeolite a synthesis employing a brazilian coal ash as the silicon and aluminum source and its applications in adsorption and pigment formulation. **Materials Research**, v.16, n. 1, p. 38-43, 2013.

CAMA, J.; AYORA, C.; QUEROL, X.; GANOR, J. Dissolution Kinetics of Synthetic Zeolite NaP1 and Its Implication to Zeolite Treatment of Contaminated Waters. **Environ. Sci. Technol.** v. 39, p. 4871-4877, 2005.

CARDOSO, A. M. **Síntese integrada em condições brandas de zeólitas 4A e NaP1, a partir de cinzas de carvão, para o uso em detergente e descontaminação ambiental.** Dissertação de mestrado, PGETEMA – PUC, Porto Alegre, RS, 2012.

CARDOSO, A. M.; PAPROCKI, A.; FERRET, L. S.; AZEVEDO, C. M. N.; PIRES, M. Synthesis of zeolite Na-P1 under mild conditions using Brazilian coal fly ash and its application in wastewater treatment. **Fuel**, v. 139, p. 59–67, 2015.

FUNGARO, D. A.; BRUNO, M. Remoção de azul de metileno de solução aquosa usando zeólitas sintetizadas com amostras de cinzas de carvão diferentes. **Química Nova**, v. 32, n. 4, 955-959, 2009.

GILES, C. H.; MACEWANS, T. H.; NAKHWA, N.; SMITH, D. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and measurement of specific areas of solids. **Journal of Chemical Society**, p. 3973-3993, 1960.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

JI, X.; ZHANG, M.; WANG, Y.; SONG, Y.; KE, Y.; WANG, Y. Immobilization of ammonium and phosphate in aqueous solution by zeolites synthesized from fly ashes with different compositions. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 22, p. 1–7, 2015.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Unit Operations Of Chemical Engineering**. McGraw-Hill Inc., 5th Ed., 1993.

MORENO, M.; QUEROL, X.; AYORA, C. Utilization of Zeolites Synthesized from Coal Fly Ash for the Purification of Acid Mine Waters. **Environ. Sci. Technol.**, v. 35, p. 3526-3534, 2001.

QUEROL, X.; UMAÑA, J. C.; PLANA, F.; ALASTUEY, A.; LÓPEZ-SOLER, A.; MEDINACELI, A.; VALERO, A.; DOMINGO, M. J.; GARCIA-ROJOB, E. Synthesis of zeolites from fly ash at pilot plant scale. Examples of potential applications. **Fuel**, v.80, p. 857-865, 2001.

ROHDE, G. M.; ZWONOK, O.; CHIES, F.; SILVA, N. I. W. **Cinzas de Carvão Fóssil no Brasil – Aspectos Técnicos e Ambientais – Volume 1**. CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre, RS, 2006.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375