



REMOÇÃO DE TOLUENO POR ADSORÇÃO USANDO UMA ARGILA ESMECTÍTICA ORGANOFÍLICA

T. C. A. Miranda¹; M. N. Carvalho¹; M. F. Souza Filho¹; D. C. S. Sales²; M. Benachour¹

1- Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal de Pernambuco.
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – CEP: 50670-901 – Recife – PE – Brasil.
Telefone PABX: (81) 2126-8000 – Email: marildacarv@gmail.com

2- Associação Caruaruense de Ensino Superior e Técnico
Av. Portugal, 584 – CEP: 55016-400 – Caruaru – PE – Brasil.

RESUMO: O despejo de contaminantes orgânicos provenientes da indústria do petróleo em cursos hídricos causa grande poluição no meio ambiente. A remoção desses poluentes se faz necessária, recorrendo-se como alternativa à adsorção em argilas modificadas. O presente trabalho investigou a remoção de tolueno por uma argila esmectítica organofílica tratada com cloreto de cetil trimetil amônio (CCTA50). Avaliações em batelada verificaram a influência da massa de adsorvente, concentração do adsorvato, tempo de contato entre as fases e volume de solução via planejamento fatorial 2^4 . Os resultados indicaram eficiência de 92,2% de remoção e capacidade máxima de adsorção de 5,77 mg/g. Estudos cinéticos verificaram alta velocidade de adsorção durante os primeiros 10 min, a partir dos quais as variações foram moderadas. A constante cinética de adsorção, apresentou valor igual a $0,0033 [\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})]^{-n}$. Os dados de equilíbrio foram melhores ajustados ao modelo de Langmuir-Freundlich, com valores estimados da capacidade máxima de adsorção (q_m) e parâmetro de heterogeneidade (n) iguais a $4,17 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ e 1,08, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: argila; adsorção; tolueno.

ABSTRACT: The release of organic contaminants from the oil industry in watercourses causes serious pollution to the environment. The removal of these pollutants is required indicating as an alternative the adsorption on modified clays. The present work investigated the removal of toluene by organophilic smectite clay treated with cetyl trimethyl ammonium chloride (CTAC50). Evaluations in batch verified the influence of adsorbent mass, concentration of adsorbate, contact time between phases and volume of solution by a 2^4 factorial design. The results indicated removal efficiency of 92.2% and maximum capacity of adsorption of 5.77 mg/g. Kinetic studies have reported a high adsorption rate for the first 10 min from which the variations were moderated. The constant adsorption kinetics, presented value of $0.0033 [\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})]^{-n}$. The equilibrium data were best fitted to the Langmuir-Freundlich model with estimated values of the maximum adsorption capacity (q_m) and heterogeneity parameter equals to $4.17 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ and 1.08, respectively.

KEYWORDS: clay; adsorption; toluene.

1. INTRODUÇÃO

Os contaminantes do tipo orgânicos aromáticos provenientes da indústria do petróleo são classificados como os compostos mais perigosos ao meio ambiente e a saúde humana (JARRAYA et al., 2010). A remoção desses

compostos por adsorção constitui um método eficiente de tratamento desses efluentes, destacando-se para tal o uso de argilas modificadas. As vantagens de uso desses adsorventes argilominerais se relacionam principalmente com o relativo baixo custo, em



vista das satisfatórias características texturais para o processo (AMARI et al., 2010).

A capacidade de remoção por adsorção de moléculas orgânicas (polares ou catiônicas) solúveis em água usando argilas in natura é baixa, devido à natureza hidrofílica dos minerais (BERGAYA; THENG; LAGALY, 2006). Ainda segundo Bergaya, Theng e Lagaly (2006), uma substituição desses cátions inorgânicos por orgânicos via troca iônica torna a superfície das argilas hidrofóbicas, produzindo as argilas organofílicas. Esses materiais modificados apresentam aumento significativo de afinidade por moléculas orgânicas, sendo indicados para uso como adsorvente.

A remoção de compostos orgânicos aromáticos usando argilas foi investigada por vários autores (CARMODY et al., 2007; KHENIFI et al., 2009; KO et al., 2007; MANGRULKAR et al., 2008; NUNES et al., 2008; RICHARDS; BOUAZZA, 2007). Segundo Wypych e Satyanarayana (2004), sais quaternários de amônio são os mais indicados para conversão da argila in natura em organofílica, pois promovem o aumento na capacidade adsorptiva. A adsorção de compostos orgânicos e voláteis por argilas modificadas foi avaliada por Seliem et al. (2011) e Nourmoradi, Nikaeen e Khiadani (Hajian) (2012), onde foi verificado que ocorreu o processo de forma satisfatória e reversível.

O presente trabalho investiga a remoção de tolueno por adsorção em uma argila presente na região nordeste do Brasil (Boa Vista – Paraíba), do tipo esmectítica tratada com cloreto de cetil trimetil amônio produzindo um material de adsorvente de caráter organofílico. Foram avaliados os efeitos da massa do material, tempo de contato, concentração de adsorvato e volume da solução sobre a adsorção do tolueno para a determinação das melhores condições operacionais via planejamento fatorial 2^4 . Foram determinados os parâmetros cinéticos e de equilíbrio em condições ótimas de adsorção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Síntese do Adsorvente

Na preparação da argila organofílica foi usada a bentonita policatiônica do tipo “chocolate”, fornecida pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP) na sua forma in natura, oriunda do distrito de Boa Vista, Campina

Grande/PB – Brasil. Adotou-se o procedimento aplicado por Baraúna (1991) que permite às argilas naturais serem convertidas em argilas sódicas, e posteriormente em organofílicas por adição do sal quaternário de amônio, cloreto de cetil trimetil amônio [$\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{14}-\text{CH}_2-\text{N}-(\text{CH}_3)_3-\text{Cl}$] (CCTA 50).

2.2. Preparação da Argila Sódica

O procedimento de conversão da argila in natura em sódica recorreu ao processo de troca iônica. Os cátions presentes na estrutura do material argiloso natural, tais como ferro, potássio, alumínio, cálcio entre outros, foram trocados pelo cátion sódio por contato com uma solução 2,65 M de carbonato de sódio. A argila em suspensão foi levada a um reator de vidro operando nas seguintes condições: 800 RPM (velocidade de rotação), 3 h (tempo de operação) e 45 °C (temperatura). A suspensão resultante foi filtrada a vácuo, lavada com água deionizada em quantidade suficiente para a remoção do excesso de sódio. Em seguida, o material foi seco a 100 °C por 24 h, em estufa de circulação de ar. A argila seca foi destorroada (com auxílio de almofariz, seguido por classificação em peneira ABNT nº 200 (# 0,075mm).

2.3. Preparação da Argila Tratada

O tratamento da argila *in natura* com o sal quaternário de amônio cloreto de cetil trimetil amônio (CCTA50) foi conduzido com excesso de 150% da capacidade de troca catiônica (CTC) previamente determinada, com valor igual a 78,3 meq/100g. Segundo Khenifi et al. (2009), a capacidade de troca catiônica representa a quantidade máxima do cátion orgânico que pode ser trocada na superfície da argila. Adicionaram-se 32,0 g da argila sódica a 768 mL de água deionizada, formando uma dispersão com 4% em massa de argila. Juntamente com a dispersão da argila em água foi adicionado o tensoativo (CCTA 50). A esta suspensão adicionou-se o cloreto de cetil trimetil amônio, sendo posteriormente submetida à agitação (800 RPM) a 25 °C por 2 h em reator de vidro. A suspensão resultante foi mantida em repouso por 24 h, sendo na sequência filtrada e lavada com água deionizada para eliminação do excesso de sal quaternário. O material foi seco por 48 h e em seguida peneirado em peneira ABNT nº 200 (# 0,075mm).



2.4. Avaliação da Adsorção

A adsorção do tolueno em argila organofílica foi investigada pelo estabelecimento de um planejamento fatorial 2^4 (Tabela 1). Os fatores de avaliação foram o tempo de contato entre as fases, a concentração de tolueno, a massa de argila e o volume da fase líquida. Os níveis de análise foram estabelecidos com base nos resultados apresentados por outros autores (HUANG et al., 2006; KETCOME; GRISDANURAK; CHIARAKORN, 2009; MIRJI et al., 2006; VIDAL; VOLZONE, 2009).

Tabela 1. Fatores e níveis do planejamento fatorial 2^4 para avaliação do sistema argila-tolueno.

Nível	Fator			
	m ± 0,5 (g)	C ± 0,5 (mg/L)	t (min)	V ± 0,1 (mL)
+1	2,0	35,0	120	50,0
-1	0,2	15,0	20	25,0
0	1,1	25,0	70	37,5

Considerando pureza e densidade do tolueno indicados pelo fornecedor, foram preparadas soluções aquosas de concentrações 35,0 mg/L, 15,0 mg/L e 25,0 mg/L em presença de metanol 0,2%. O metanol nessa concentração serve a uma melhor solubilização do composto aromático sem interferir na sua adsorção (LEE et al., 2004).

Adsorvente e adsorvato foram misturados em triplicata utilizando-se frascos vedados com parafilme sob agitação (300 RPM), em temperatura mantida constante (23 ± 1 °C) a fim de se evitar a volatilização. Após os tempos de contato pré-estabelecidos, as amostras foram centrifugadas a 3000 RPM, separando a argila do tolueno residual não adsorvido. A retirada da amostra líquida foi realizada com auxílio de um *holder*, composto de uma seringa com filtro de vidro de 25 mm, apropriado para solventes. A concentração residual do tolueno na solução foi determinada via Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) nas condições de operação adaptadas de BREITKREITZ; JARDIM; BRUNS (2009). Condições: fase móvel composta de acetonitrila, metanol e água 28/37/35 %v/v; detector UV com comprimento de onda 254 nm; volume de injeção 20 µL; coluna cromatográfica C18; temperatura da coluna 40 °C.

A capacidade de adsorção (q) de tolueno foi calculada com base na sua concentração residual na solução (C), segundo a Equação 01:

$$q = (C_0 - C) \times (V/m) \quad (01)$$

na qual C_0 é a concentração inicial de tolueno, V é o volume da solução e m é a massa de adsorvente. Os parâmetros considerando o equilíbrio de adsorção foram determinados via ajuste dos dados experimentais à equação de Langmuir-Freundlich, Equação 02 (CARVALHO et al., 2012).

$$q_{eq} = q_m \frac{K \cdot C_{eq}^n}{1 + K \cdot C_{eq}^n} \quad (02)$$

na qual q_{eq} é a capacidade de adsorção de tolueno no equilíbrio, q_m é a capacidade máxima de adsorção de tolueno, K é a constante de equilíbrio de adsorção, C_{eq} é a concentração residual do tolueno e n é o parâmetro relacionado com a heterogeneidade da superfície do adsorvente.

Um estudo cinético considerando a interação de adsorção tolueno-argila foi realizado pelo acompanhamento da concentração do tolueno residual na solução ao longo do tempo. Um balanço material forneceu o modelo de previsão dos comportamentos de concentração e capacidade de adsorção, segundo a Equação 03. A taxa de adsorção seguiu o uso do modelo cinético de Langmuir-Freundlich, conforme a Equação 04 (CARVALHO et al., 2012).

$$-\frac{dC}{dt} = \left(\frac{m}{V}\right) \cdot \frac{dq}{dt} \quad (03)$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{k_a}{q_m} \cdot \left[C^n \cdot (q_m - q) - \frac{q}{K} \right] \quad (04)$$

na qual k_a é a constante cinética de adsorção e t é o tempo operacional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Síntese do Adsorvente

O planejamento fatorial da adsorção do tolueno pela argila organofílica (Tabela 2) forneceu as variáveis de resposta q (capacidade de adsorção) e $X = (C_0 - C)/C_0$ (eficiência de remoção). O maior valor de capacidade de adsorção ($5,77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) foi obtido nas condições apresentadas na amostra 11 (Tabela 2): menores

massa de argila (0,2 g) e tempo de contato (20 min) com maiores concentração (35,0 mg.L⁻¹) e volume de solução (50,0 mL). Levando-se em consideração os resultados obtidos para maior a eficiência de remoção do tolueno (92,2 %), as melhores condições foram obtidas para a amostra 8: maior massa de argila (2,0 g) e menores volume de solução (25,0 mL.L⁻¹), concentração de tolueno (15,0 mg.L⁻¹) e tempo de contato (20,0 min). Nas condições onde a capacidade de adsorção atingiu seu valor máximo, a eficiência de remoção foi de 66%, enquanto que nas condições de remoção máxima, o valor obtido de capacidade de adsorção foi 0,17 mg.g⁻¹, representando 72% do valor máximo obtido.

Menores volumes de solução conduziram melhores condições de adsorção por promover maior contato entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, enquanto que, maiores massas de argila implicaram em aumento na área superficial exposta para adsorção.

Tabela 2. Variáveis de resposta do planejamento fatorial 2⁴ para o processo adsorção tolueno-argila.

Amostra	m (g)	C (mg/L)	t (min)	V (mL)	q ± 0,01 (mg/g)	X (%)
1	1	1	1	1	0,75	85,3
2	1	1	1	-1	0,40	91,9
3	1	1	-1	1	0,68	77,3
4	1	1	-1	-1	0,40	91,2
5	1	-1	1	1	0,30	79,7
6	1	-1	1	-1	0,16	88,2
7	1	-1	-1	1	0,33	87,4
8	1	-1	-1	-1	0,17	92,2
9	-1	1	1	1	4,29	49,3
10	-1	1	1	-1	3,18	72,9
11	-1	1	-1	1	5,77	66,1
12	-1	1	-1	-1	3,48	79,6
13	-1	-1	1	1	1,56	43,7
14	-1	-1	1	-1	1,29	70,2
15	-1	-1	-1	1	2,34	63,8
16	-1	-1	-1	-1	1,39	75,2
17	0	0	0	0	0,75	87,7

3.2. Análise de Variância

O modelo empírico usado na análise de variância para os resultados do planejamento fatorial está representado por: $q = 1,62 - 1,27m + 0,70C - 0,16t + 0,35V - 0,54mC + 0,17mt -$

$0,23mV - 0,05Ct + 0,15CV - 0,11tV$. Os parâmetros do modelo foram obtidos, recorrendo-se a regressões não lineares a partir dos ajustes entre os dados experimentais de capacidade de adsorção e àqueles obtidos pelo modelo, por minimização da função de erro absoluto (f), Equação 05, via uso do software *Statistica 5.0*.

$$f = \sum |q_i - q_{i,exp}| \quad (05)$$

Observou-se em relação às ordens de grandeza apresentadas para os coeficientes da equação de capacidade de adsorção, que todos os parâmetros e suas interações tiveram influência significativa sobre a variável de resposta. Em valor absoluto, pode-se destacar a massa de adsorvente como parâmetro de maior influência, enquanto que o tempo de contato incide de forma menos significativa sobre o processo. A interação entre parâmetros teve efeito absoluto sobre a variável de resposta mais pronunciado entre a massa de adsorvente e a concentração da solução, enquanto que a interação entre a concentração e o tempo de contato apresentaram efeitos menores.

Recorreu-se a uma análise de variância (ANOVA) para o modelo que representa a variável de resposta da capacidade de adsorção. Os resultados obtidos indicaram boa correlação entre os dados experimentais e os calculados pelo modelo, com valor satisfatório de coeficiente de correlação ($R^2 = 0,97$). Aplicado o teste F unilateral à esquerda, considerando 5% de significância (α), o valor calculado ($F_{cal} = 78,62$) maior que o tabelado ($F_{tab} = 2,33$) garantiu que a hipótese de variâncias iguais foi satisfeita, tornando o modelo significativo, podendo ser usado para fins preditivos.

3.3. Diagrama de Pareto

O diagrama comparativo de Pareto se encontra apresentado na Figura 1.

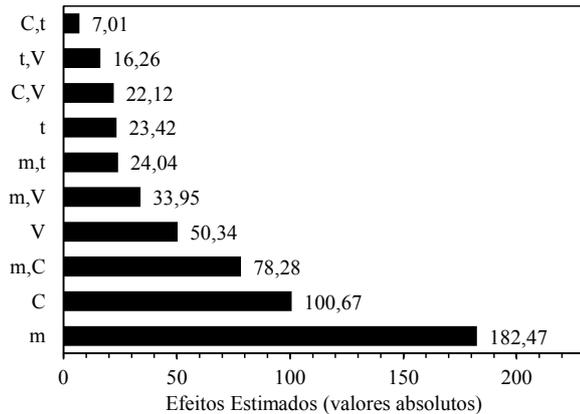


Figura 1. Diagrama de Pareto para o processo de adsorção tolueno-argila.

As variáveis de independentes foram relacionadas mutuamente, bem como suas influências sobre a capacidade de adsorção. Observou-se que a massa de adsorvente e a concentração de adsorvato foram os parâmetros mais influentes sobre o processo. Os resultados também indicaram que o volume e o tempo, assim como, a interação entre as demais variáveis, influenciaram o processo, porém de forma discreta. A massa de adsorvente e o tempo apresentaram efeitos inversamente proporcionais sobre a capacidade de adsorção. Enquanto que redução da massa de adsorvente favoreceu a adsorção, a diminuição do tempo teve o mesmo efeito. Concentração de adsorvato e volume de solução influenciaram diretamente a adsorção do tolueno pela argila organofílica.

Os efeitos da concentração de tolueno e massa de argila sobre a capacidade de adsorção estão apresentados na Figura 2. Os resultados reforçaram a indicação de que o uso de que maiores concentrações de tolueno e menores massas de argila implicam em maior quantidade de tolueno removido, sendo esses os parâmetros mais importantes conforme apresentado na Figura 1.

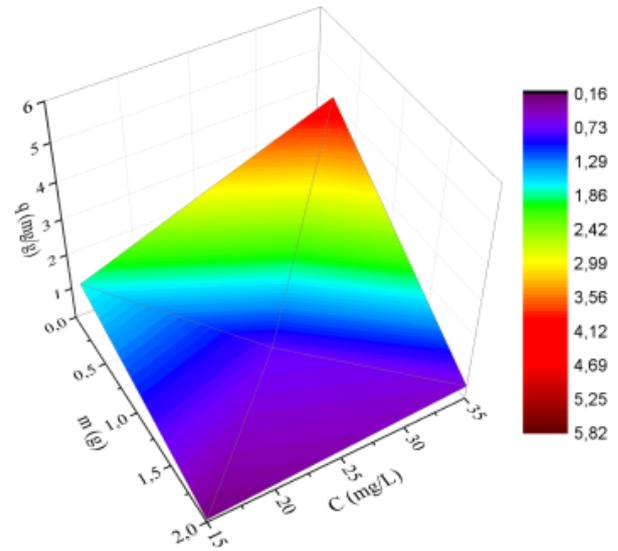


Figura 2. Capacidade de adsorção do tolueno sobre a argila organofílica.

3.4. Evolução da Adsorção

As evoluções da concentração residual de tolueno (C) na solução e capacidade de adsorção (q), considerando uma concentração inicial de tolueno na solução de 25,0 mg/L, estão apresentadas na Figura 3. Observou-se com base nas evoluções que o equilíbrio foi estabelecido próximo a 90 min decorridos do início do processo.

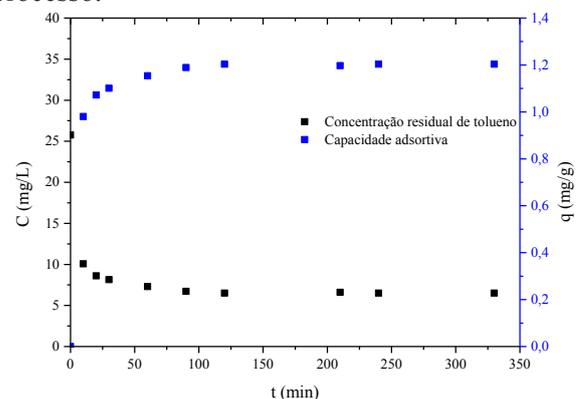


Figura 3. Evolução da concentração residual de tolueno e capacidade de adsorção.

Com base nas evoluções apresentadas, também foi observada rápida adsorção do tolueno sobre a argila, com remoção próxima a 90% estabelecida nos primeiros 5 min decorridos do início do processo. No equilíbrio, a capacidade de adsorção de tolueno foi de $1,21 \text{ mg.g}^{-1}$, valor semelhante ao observado por Carvalho et al. (2012), utilizando argilas semelhantes. Rápida cinética de adsorção também foi observada por



Mangrulkar et al. (2008) na adsorção de fenol por argila organofílica. Adsorção de aromáticos em sistemas monocomponente por argila, avaliados por Juang, Lin e Tsao (2002), mostraram que a remoção desses compostos ocorreu de forma muito rápida. O equilíbrio foi alcançado em um tempo inferior a 10 minutos de contato entre as fases. Os resultados obtidos por Vidal e Volzone (2009) revelaram q_m em uma faixa de 0,2 a 22 mg/g.

3.5. Cinética e Equilíbrio de Adsorção

Determinado o tempo de equilíbrio de adsorção, seguiu-se avaliação do equilíbrio em diferentes concentrações, segundo a Figura 4.

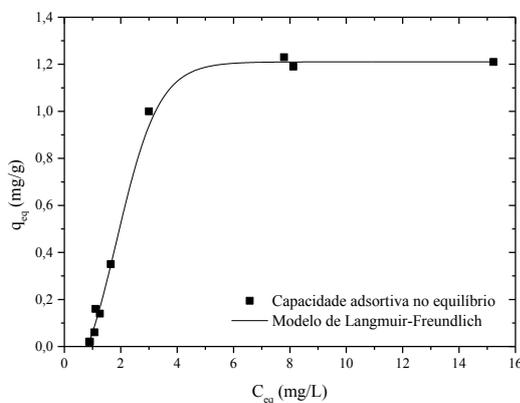


Figura 4. Cinética de adsorção tolueno-argila.

Amari et al. (2010) também estudaram a remoção de componentes orgânicos, inclusive tolueno, via uso de argila modificada, observaram que o modelo de Langmuir-Freundlich era o que melhor representava os dados experimentais de equilíbrio, com valores estimados da capacidade máxima de adsorção (q_m) e parâmetro de heterogeneidade (n) iguais a 4,17 mg.g⁻¹ and 1.08, respectivamente. Na sequência, com base nas Equações 03 e 04, além dos parâmetros obtidos a partir dos ajustes dos dados de equilíbrio, foi determinada a constante cinética de adsorção, com valor igual a 0,0033 [mg.g⁻¹ (mg.L⁻¹)]⁻ⁿ, via ajuste de modelo, segundo a Figura 5.

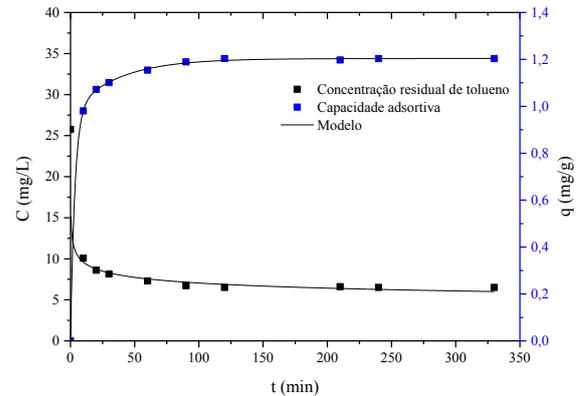


Figura 5. Cinética de adsorção tolueno-argila.

4. CONCLUSÃO

A remoção de tolueno por adsorção usando argila organofílica foi estudada, para qual a concentração do tolueno em solução, massa de adsorvente e volume de solução tiveram seus efeitos avaliados sobre a capacidade de adsorção. Um planejamento fatorial 2⁴ foi realizado, onde se observou que os maiores efeitos sobre a capacidade de adsorção estão associados ao aumento da concentração de tolueno e diminuição da massa de adsorvente usada. O tempo de contato e volume da solução não tiveram efeitos significativos sobre a quantidade de tolueno removida. O estudo da evolução da adsorção do tolueno na argila organofílica indicou que o equilíbrio foi estabelecido próximo dos 90 min decorridos do início do processo, com aproximadamente 90% da remoção ocorrendo nos primeiros 5 min. Os modelos propostos (Langmuir-Freundlich) para representação do comportamento cinético e do equilíbrio reproduziram satisfatoriamente os dados experimentais.

4. REFERÊNCIAS

AMARI, A. et al. Optimised activation of bentonite for toluene adsorption. *Applied Clay Science*, v. 47, n. 3-4, p. 457-461, 2010.

BARAÚNA, O. S. **Estudo das argilas que recobrem as camadas de gipsita da Bacia Sedimentar do Araripe**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química—Recife: Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.



- BERGAYA, F.; THENG, B. K. G.; LAGALY, G. **Handbook of clay science**. Amsterdam: Elsevier, 2006.
- BREITKREITZ, M. C.; JARDIM, I. C. S. F.; BRUNS, R. E. Combined column–mobile phase mixture statistical design optimization of high-performance liquid chromatographic analysis of multicomponent systems. **Journal of Chromatography A**, v. 1216, n. 9, p. 1439–1449, 2009.
- CARMODY, O. et al. Adsorption of hydrocarbons on organo-clays—Implications for oil spill remediation. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 305, n. 1, p. 17–24, 2007.
- CARVALHO, M. N. et al. Evaluation of BTEX and phenol removal from aqueous solution by multi-solute adsorption onto smectite organoclay. v. 239–240, n. 0, p. 95–101, 2012.
- HUANG, Q. et al. Adsorption of n-heptane, toluene and o-xylene on mesoporous UL-ZSM5 materials. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 87, n. 3, p. 224–234, 2006.
- JARRAYA, I. et al. VOC adsorption on raw and modified clay materials. **Chemical Geology**, v. 275, n. 1–2, p. 1–8, 2010.
- JUANG, R.-S.; LIN, S.-H.; TSAO, K.-H. Mechanism of Sorption of Phenols from Aqueous Solutions onto Surfactant-Modified Montmorillonite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 254, n. 2, p. 234–241, 2002.
- KETCOME, N.; GRISDANURAK, N.; CHIARAKORN, S. Silylated rice husk MCM-41 and its binary adsorption of water–toluene mixture. **Journal of Porous Materials**, v. 16, n. 1, p. 41–46, 2009.
- KHENIFI, A. et al. Removal of 2,4-DCP from wastewater by CTAB/bentonite using one-step and two-step methods: A comparative study. **Chemical Engineering Journal**, v. 146, n. 3, p. 345–354, 2009.
- KO, C. H. et al. p-Nitrophenol, phenol and aniline sorption by organo-clays. **Journal of Hazardous Materials**, v. 149, n. 2, p. 275–282, 2007.
- LEE, S. Y. et al. Sorption of hydrophobic organic compounds onto organoclays. **Chemosphere**, v. 55, n. 5, p. 781–785, 2004.
- MANGRULKAR, P. A. et al. Adsorption of phenol and o-chlorophenol by mesoporous MCM-41. **Journal of Hazardous Materials**, v. 160, n. 2–3, p. 414–421, 2008.
- MIRJI, S. A. et al. Adsorption of toluene on Si(1 0 0)/SiO₂ substrate and mesoporous SBA-15. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 272, n. 3, p. 220–226, 2006.
- NOURMORADI, H.; NIKAEEN, M.; KHIADANI (HAJIAN), M. Removal of benzene, toluene, ethylbenzene and xylene (BTEX) from aqueous solutions by montmorillonite modified with nonionic surfactant: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. **Chemical Engineering Journal**, v. 191, n. 0, p. 341–348, 2012.
- NUNES, C. D. et al. Synthesis and characterisation of organo-silica hydrophobic clay heterostructures for volatile organic compounds removal. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 111, n. 1–3, p. 612–619, 2008.
- RICHARDS, S.; BOUAZZA, A. Phenol adsorption in organo-modified basaltic clay and bentonite. **Applied Clay Science**, v. 37, n. 1–2, p. 133–142, 2007.
- SELIEM, M. K. et al. Organosilicas and organo-clay minerals as sorbents for toluene. **Applied Clay Science**, v. 52, n. 1–2, p. 184–189, 2011.
- VIDAL, N.; VOLZONE, C. Analysis of tetramethylammonium–montmorillonite and retention of toluene from aqueous solution. **Applied Clay Science**, v. 45, n. 4, p. 227–231, 2009.
- WYPYCH, F.; SATYANARAYANA, K. G. **Clay surfaces: fundamentals and applications**. London: Elsevier Academic Press, v. 1, 2004.