

## **APLICAÇÃO DE ARGILAS ESMECTÍTICAS ORGANOFÍLICAS NA ADSORÇÃO DE EFLUENTES PETROLÍFEROS EM SISTEMA DE BANHO FINITO**

Joseane Damasceno Mota<sup>\*</sup>; Rochelia Silva Souza Cunha; Luana Araújo de Oliveira; Patrícia Noemia Mota de Vasconcelos; Meiry Glauca Freire Rodrigues

<sup>1</sup>Laboratório de Desenvolvimento de Novos Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso, 58109-970 Campina Grande, Brasil. email: [\\*joseanemota2006@hotmail.com](mailto:joseanemota2006@hotmail.com)

**RESUMO** – Um dos problemas mais sérios que afetam o meio ambiente é a poluição de natureza química, devida a compostos orgânicos ou inorgânicos, provenientes das diversas atividades industriais. As argilas apresentam viabilidade técnico-econômica decorrente dos seus potenciais de adsorção que, associados as suas disponibilidades, as tornam adsorventes de baixo custo. Por outro lado, na sua forma natural não possui afinidade com compostos orgânicos. Buscou-se desenvolver um material destinado a remoção de compostos orgânicos, empregando argilas provenientes do município de Boa-Vista/PB. As argilas organofílicas foram preparadas, visando uma efetiva troca catiônica nas suas regiões interlamelares. Para a caracterização das argilas foram feitas as análises de difração de raios X e espectroscopia na região do Infravermelho. Visando avaliar e escolher a melhor argila para realização de ensaios de banho finito variando a concentração e a agitação do efluente, foi realizado um ensaio prévio de capacidade de adsorção das argilas na remoção de gasolina. As análises de difração de raios X e espectroscopia na região do Infravermelho confirmaram a organofilização das argilas. Foi evidenciado que a argila Bofe apresentou melhores resultados de capacidade de adsorção. Foram adsorvidos em média para as argilas organofílicas 5,23 g de gasolina/ grama de argila Bofe e 2,21g de gasolina/ grama de argila Chocolate B. Nos ensaios de banho finito de maneira geral, a argila Bofe adsorveu bem a gasolina, cerca de 99% na concentração de 500 ppm e agitação de 300 rpm. Sendo assim, percebe-se que a argila bofe, configura-se em uma excelente alternativa na adsorção de poluentes orgânicos.

Palavras-chave: Poluentes orgânicos; argilas; adsorção.

### **1. INTRODUÇÃO**

Com a exploração do petróleo a poluição em cursos aquáticos tem aumentado conforme Hussein *et al.*, (2009). Um dos subprodutos da produção de petróleo e gás, que inclui quase 98% de todos os resíduos gerados pela exploração do petróleo e de suas atividades de produção, é a água de produção que tem um grande impacto no nosso ambiente, composta por uma série de hidrocarbonetos. Além disso, as normas de descarga estão cada vez mais rigorosa na maioria das áreas operacionais do mundo. Visando diminuir a geração destes resíduos, o

tratamento de água, tornaram-se temas de crescente atenção e interesse nas operações de exploração e produção em todos os lugares conforme Alter (1997).

Segundo Aivalioti et al., (2011) os vazamentos de derivados de petróleo de tanques de armazenamento, transporte, oleodutos e efluentes petroquímicos introduz uma série de compostos no meio ambiente, incluindo ao ar, solo e água. Existem preocupações sobre os efeitos adversos à saúde de compostos derivados do petróleo como a gasolina, Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), incluindo câncer, irritação das membranas mucosas, alterações hematológicas, comprometimento do sistema nervoso central, problemas respiratórios e rompimento de fígado e rim efeitos conferidos por Aivalioti *et al.*, (2011) e pela Organização Mundial da Saúde (2004).

Atualmente, vários métodos são utilizados para purificar a água a partir de produtos petrolíferos: métodos mecânicos, físico-químicos, e bioquímicos. As melhores tecnologias disponíveis para a remoção do óleo incluem o tratamento químico, separação por gravidade, coalescedores de placas paralelas, flotação gás, flotação por ar, jato de flotação, eletroflotação, a separação do ciclone, filtração meio granular, filtração cartucho, filtração biológica aerada e adsorção Santander e Rubio (2011) e Su *et al.*, (2007). Entre os métodos físico-químicos, a adsorção é considerado um dos processos mais atraentes, uma vez que é muito eficiente e pode assegurar a purificação para qualquer nível exigido do processo, além da diversidade de adsorventes que podem ser utilizados no processo.

Assim, as argilas esmectíticas surgem como alternativas no processo de adsorção por possuírem elevada área de superfície e baixo custo Gil *et al.*, (2011). No entanto as argilas naturais possuem a característica de ser hidrofílica o que dificulta a remoção de compostos orgânicos por não possuírem afinidade, porém elas podem ser modificadas quimicamente, o que permite seu uso para diversos tipos de aplicações tecnológicas, resultando grande valor científico e industrial Lagaly *et al.*, (2006).

As argilas organofílicas removem de maneira eficiente os compostos orgânicos de baixa solubilidade na água como óleos. Apesar de existirem outros tipos de adsorventes para removerem a maioria dos poluentes, alguns são suscetíveis à obstrução dos poros na sua estrutura por hidrocarbonetos grandes. Por esse motivo, as argilas modificadas com sais orgânicos são utilizadas para remoção de compostos provenientes de petróleos, a partir de soluções aquosas Silva *et al.*, (2011) e Nguyen *et al.*, (2013).

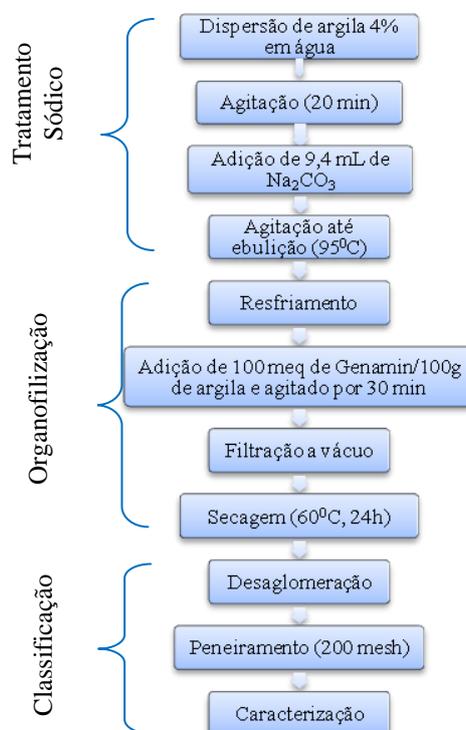
Logo, este trabalho visa sintetizar argilas organofílicas (Bofe e chocolate B), a partir de argilas naturais, utilizando o sal orgânico (GENAMIN CTAC-50) e testar a eficiência na capacidade de adsorção na remoção de gasolina comercial. Obtendo este resultado, escolher-

se a argila para realização de ensaios de banho finito, variando a agitação e a concentração do efluente.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### *Preparação das argilas organofílicas*

Foi utilizada as argilas Bofe e Chocolate B, fornecida pela Bentonisa do Nordeste S.A., localizada em Boa Vista, Paraíba. Foi utilizado o sal quaternário de amônio comercial Cloreto de cetil trimetil amônio (Genamin), fornecido pela Clariant. O método utilizado foi o mesmo de Pereira et al. (2007). O procedimento é ilustrado no diagrama descrito na Figura 1, o qual apresenta as etapas de preparação da argila organofílica.



**Figura 1.** Diagrama do processo de produção das argilas organofílicas.

### *Caracterização das argilas*

#### Difração de raios X (DRX)

As amostras de argilas foram peneiradas e colocadas em porta amostra de alumínio para as medições de difração de raios-X. Os padrões de DRX dos materiais foram obtidos no equipamento Shimadzu XRD-6000 com radiação  $\text{CuK}\alpha$ , tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, tamanho do passo de  $0,020\ 2\theta$  e tempo por passo de 1,000 s, com velocidade de varredura de  $2^\circ(2\theta)/\text{min}$ , com ângulo  $2\theta$  percorrido de 2 a  $50^\circ$ .

## Espectroscopia na Região do Infravermelho (IV)

As amostras foram submetidas a um tratamento físico, que consiste na mistura de 0,007 g de argila e 0,1 g de KBr, trituração e prensagem da mistura sólida a 5 toneladas durante 30 s, de modo a formar uma pastilha que permite a passagem da luz. A caracterização foi realizada utilizando um espectrofotômetro de infravermelho AVATAR TM 360 ESP FT-IR, na região compreendida de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ .

### *Capacidade de Adsorção*

O teste de avaliação da capacidade de adsorção em solvente orgânico foi baseado no “Standard Methods of Testing Sorbent Performance of Adsorbents” baseado nas normas ASTM F716–82 e ASTM F726–9 variando apenas o tempo de contato entre o adsorvente e o adsorbato. Este teste constou do seguinte procedimento: em um recipiente, béquer, onde foi colocado o solvente a ser testado até uma altura de 2 cm. Em uma cesta (fabricada de tela de Aço Inoxidável com malha ABNT 200, abertura de 0,075 mm) foi colocado 1,00g do material adsorvente, argila organofílica a ser testado. Esse conjunto foi pesado e colocado no béquer com o solvente, onde permaneceu em contato por 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 e 60 minutos. Após esse tempo, deixou escorrer o excesso por 15 segundos e realizada uma nova pesagem. A quantidade de solvente adsorvida foi calculada a partir da Equação (1).

$$Ad = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_2} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que:  $P_1$ : Peso do material após adsorção.  $P_2$ : Peso do material adsorvente seco.  $Ad$ : Eficiência da adsorção para o fluido e o adsorvente testado, em percentagem.

Os resultados da capacidade de adsorção foram apresentados em gramas de solvente adsorvido por grama de argila.

### *Preparação das Emulsões óleo/água*

Para a realização dos ensaios de banho finito, foram produzidas emulsões óleo/água com concentrações de 100  $\text{mg.L}^{-1}$ , 300  $\text{mg.L}^{-1}$  e 500  $\text{mg.L}^{-1}$ . Foi adicionado às emulsões cloreto de sódio na concentração de 5000  $\text{mg.L}^{-1}$  para simular a salinidade da água do mar. As

emulsões foram preparadas sob agitação intensa de (17000 rpm), rotação suficiente para a formação das emulsões, durante 20 minutos.

### *Planejamento Experimental*

Foi adotado um planejamento fatorial de dois níveis com três repetições no ponto central (repetições no ponto central permite a estimativa dos erros experimentais e os efeitos não-lineares de curvatura) foi aplicado para avaliar qualitativamente e quantitativamente a influência do fator individual sobre as variáveis que está sendo analisado. A finalidade deste estudo foi avaliar a tendência para maximizar a eficiência do processo, ou seja, realizar uma estimativa conjunta dos melhores valores para cada uma das variáveis de acordo com Montgomery e Runger, (2003). Duas variáveis independentes foram selecionadas: a concentração inicial de soluções de água-óleo ( $C_0$ ), avaliada na faixa de 100 a 500  $\text{mg.L}^{-1}$  e a velocidade de agitação (A) mantido dentro da faixa de 100-300 rpm, cujos valores são codificados como os níveis de (+) e (-), como referenciado na Tabela 1.

**Tabela1.** Matriz de ensaios do planejamento fatorial  $2^2$ .

Ensaio	Fator $C_0$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Fator A (rpm)	Nível do Fator $C_0$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
1	100	100	-1
2	100	300	-1
3	500	100	+1
4	500	300	+1
5	300	200	0
6	300	200	0
7	300	200	0

### *Preparação e Realização dos Ensaios de Banho Finito*

Os ensaios de banho finito foram preparados de acordo com a matriz de planejamento. Adicionou-se 0,5 g de argila organofílica a 50 mL das emulsões com concentrações na faixa de 100-500  $\text{mg.L}^{-1}$ . Após adicionar, levou-se o conjunto (emulsão óleo/água + argila organofílica) para a agitação mecânica, variando entre 100-300  $\text{mg.L}^{-1}$  durante 6 horas, de forma a garantir o equilíbrio do sistema.

*Determinação da Concentração de Óleo:* A concentração de óleo presente na fase aquosa do conjunto (emulsões óleo/água + argila) após 6 horas foi determinada através de análises de

absorbância utilizando o Espectrofotômetro de UV – Visível. Inicialmente foi preparada uma curva de calibração. A curva foi feita variando as concentrações de 0 a 500 mg.L<sup>-1</sup> e o solvente utilizado foi o clorofórmio, o qual possui um pico significativo no comprimento de onda de 262 nm nas amostras avaliadas.

Para determinar a quantidade de óleo presente na água a técnica consistiu em coletar 5 mL da amostra a ser analisada e adicionou-se 5 mL de clorofórmio. Agitou-se por 5 minutos e após a separação da fase, foi feita a coleta da fase solvente (clorofórmio + óleo). Foi realizada a leitura da absorbância, em 262 nm no espectrofotômetro. E por meio da curva de calibração foi possível determinar a concentração de óleo na amostra.

A percentagem de remoção total de óleo (%Rem) e a Capacidade de Remoção de óleo em equilíbrio ( $q_{eq}$ ) foram obtidos por meio das Equações (01) e (02), respectivamente:

$$\% Rem = \left( \frac{C_0 - C}{C_0} \right) * 100 \quad (01)$$

Em que: %Rem é a percentagem total de remoção de óleo;  $C_0$  é a Concentração da solução inicial (emulsão óleo/água) concentração, em mg.L<sup>-1</sup>;  $C$  é a Concentração da solução final (emulsão óleo/água), em mg.L<sup>-1</sup>.

$$q_{eq} (mg.g^{-1}) = \frac{V}{m} (C_0 - C) \quad (02)$$

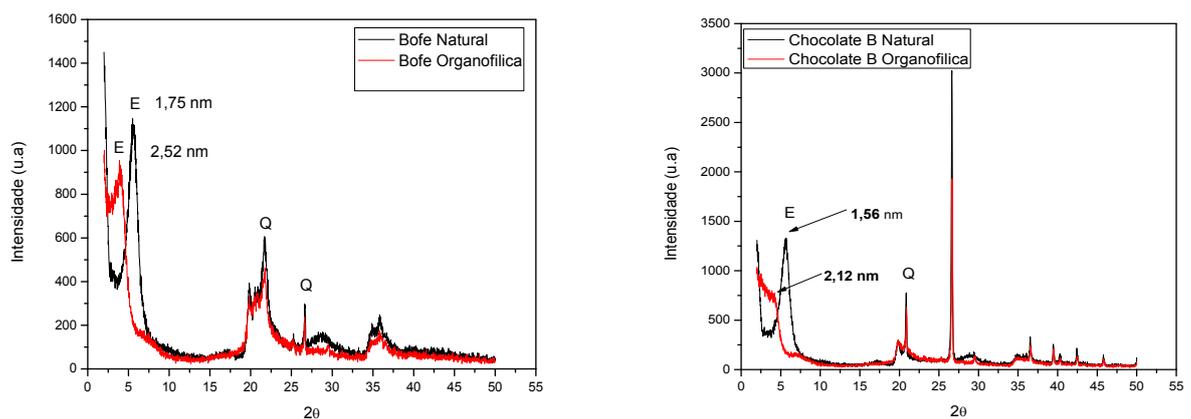
Em que:  $q_{eq}$  é a capacidade de remoção de óleo no equilíbrio, em mg de óleo/g de adsorvente;  $C_0$  é a Concentração da solução inicial (emulsão óleo/água) concentração, em mg.L<sup>-1</sup>  $C$  é a Concentração da solução final (emulsão óleo/água), em mg.L<sup>-1</sup>;  $V$  é o volume do adsorbato, em mL;  $m$  é a massa do adsorvente, em g.

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os valores obtidos dos espaçamentos basais é possível verificar e comparar a variação do pico característico de uma argila natural e de uma argila organofílica. O valor do espaçamento basal adquirido varia de acordo com o tipo, concentração e orientação do sal quaternário de amônio empregado na metodologia de preparação, Paiva *et al.* (2008).

Nas Figuras 2 (a e b) estão ilustrados os difratogramas das argilas Bofe e Chocolate B:

natural e organofílica onde apresentam as aberturas das camadas das argilas, logo após a intercalação dos cátions orgânicos. É possível verificar que após o processo de organofilização ocorreu <sup>(a)</sup> redução do ângulo  $2\theta$  e, conseqüentemente, <sup>(b)</sup> aumento do espaçamento basal decorrente do sal quaternário de amônio, promovendo uma nova abertura nas argilas.



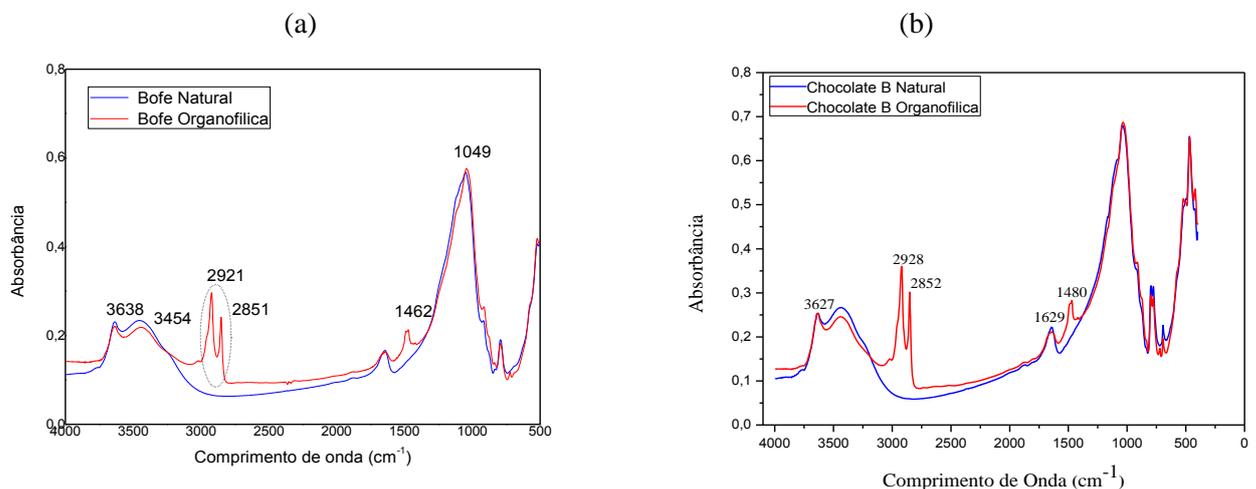
**Figura 2.** Difratomogramas das argilas Bofe: Natural e Organofílica (a), Difratomogramas das argilas Chocolate B: Natural e Organofílica (b).

Por meio dos difratogramas é possível verificar que a argila Bofe e Chocolate B natural apresenta reflexão do grupo da esmectita (E) que aparece em aproximadamente  $5,6^\circ$  e corresponde ao espaçamento basal ( $d_{001}$ ) de 1,75nm e 1,56nm que é característico de uma montmorilonita hidratada. Observam-se também outros picos que são referentes à mineral não esmectítico como o quartzo que se apresenta como impureza, características encontradas também por Wang et al. (2004).

Na representação gráfica para as argilas tratadas, pode-se observar que os padrões de DRX, ilustram que após a modificação da argila Bofe natural com sais quaternários de amônio, o deslocamento dos picos de difração ocorreu um aumento do espaçamento basal para 2,52 nm, como pode ser visto em  $3,9^\circ$  (Figura 2a) e a argila Chocolate B ocasionou um aumento do espaçamento basal para 2,12nm (Figura 2b).

O aumento expressivo na  $d(001)$  das amostras obtidas com o sal quaternário evidencia a efetiva intercalação dos cátions quaternários de amônio nas camadas interlamelares das argilas.

Os espectros na região do infravermelho das amostras das argilas Bofe e Chocolate B: natural e organofílica estão apresentados nas Figura 3 (a e b).

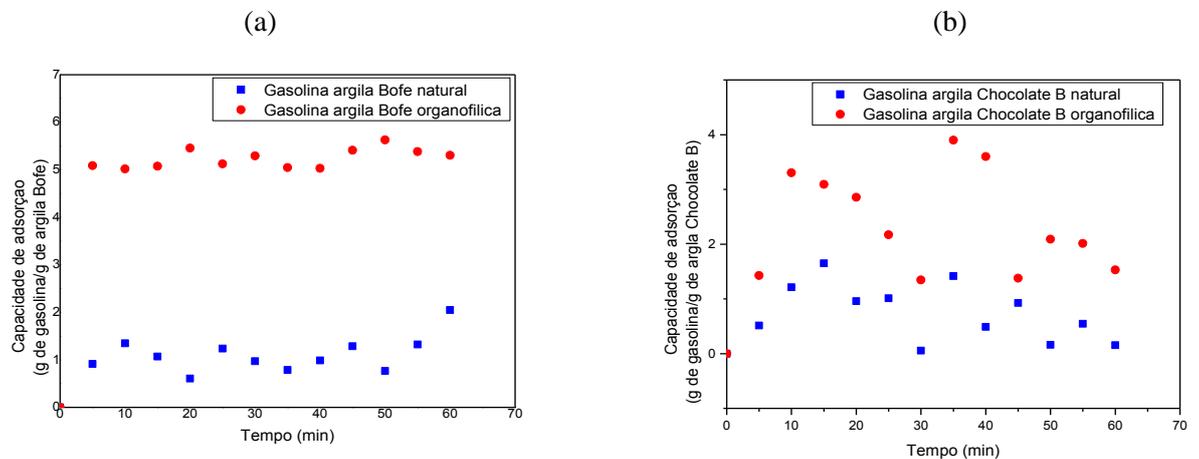


**Figura 3.** Espectros na região do infravermelho das argilas Bofe: natural e organofílica (a) e argila Chocolate B (b).

Analisando os espectros na região do infravermelho das amostras que estão representados nas Figuras 3 (a e b), é possível verificar que existem bandas na região de 3640 - 3400  $\text{cm}^{-1}$ , que são relativas ao grupo OH livre ou combinado. Estas bandas são atribuídas a vibrações de estiramento do grupo funcional OH da água no interior das esmectitas. Bandas presente nas argilas organofílica, indicando a manutenção da estrutura após a organofilização. A diminuição na intensidade das bandas referentes à mesma região na naturais para as organofílicas refletem apenas mudanças nas características da superfície das mesmas, de hidrofílica para hidrofóbica, Bertagnolli *et al.* (2009). Já as bandas que surgem após o processo de organofilização próximas a região de 2950 – 2800  $\text{cm}^{-1}$  são características dos estiramentos das ligações  $\text{CH}_2$ . Sendo as bandas próximas a 2900  $\text{cm}^{-1}$  relativas ao estiramento assimétrico, e as bandas próximas a 2800  $\text{cm}^{-1}$  ao simétrico, Leite *et al.* (2008). Já as bandas próximas a 1480  $\text{cm}^{-1}$  estão relacionadas à flexão do grupo  $\text{CH}_3$ , indicando a presença do surfactante nas argilas, Zhou *et al.* (2008). As bandas presentes na região próxima a 1045  $\text{cm}^{-1}$  são características das ligações Si-O-Si e as próximas à região 530  $\text{cm}^{-1}$  são correspondentes às características das camadas octaédricas do aluminossilicato Si-O-Al, Kozak e Donka (2004).

Nas Figuras 4 (a e b) estão ilustrados os resultados obtidos, da capacidade de adsorção das argilas Bofe e Chocolate B naturais e organofílicas em solvente orgânico gasolina

comercial.



**Figura 4.** Capacidade de adsorção das argilas Bofe natural e organofílica (a) e argila Chocolate B natural e organofílica (b) na remoção de gasolina.

É possível verificar, a partir dos dados apresentados na Figura 4, uma adsorção bastante rápida independente do adsorvente utilizado (argila natural ou argila organofílica).

Ao comparar as duas curvas, observa-se que a quantidade total de gasolina adsorvida utilizando a argila organofílica para os dois tipos de argilas foi maior do que quando se utilizou argila natural. Foram adsorvidos em média com a utilização das argilas organofílicas 5,23 g de gasolina por grama de argila Bofe e 2,21g de gasolina por grama de argila Chocolate B, enquanto que na argila natural a capacidade de adsorção ao longo do tempo de contato apresentou em média uma capacidade de adsorção de apenas 1,11 g de gasolina por grama de argila Bofe natural e a argila chocolate B 0,70 g de gasolina por cada grama de argila. Estes resultados estão em concordância com os encontrados na literatura Rodrigues *et al.* (2010) e Oliveira *et al.* (2012).

Resultados estes que evidenciam que o processo de organofilização promove o potencial da argila modificada com sais orgânicos na remoção de compostos orgânicos, sendo, portanto mais uma alternativa para processos adsorptivos de contaminantes orgânicos.

Dessa forma, é notável que mesmo pertencendo ao mesmo grupo, as argilas possuem características distintas, em que foi observado que a argila Bofe apresentou melhores resultados de capacidade de adsorção de gasolina, sendo portanto, a argila escolhida para ser realizado os ensaios de banho finito variando a concentração e a agitação.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados referentes à percentagem de remoção de gasolina e capacidade de remoção no equilíbrio, para a argila Bofe de acordo com o planejamento fatorial  $2^2$  com três pontos centrais no total de 7 experimentos.

**TABELA 2:** Resultados obtidos a partir do Planejamento Fatorial  $2^2$  com três pontos centrais para remoção de gasolina.

ENSAIOS	$C_0$ (ppm)	Agitação (rpm)	% Rem	$q_{eq}$ (mg.g <sup>-1</sup> )
1	100	100	91,54	9,52
2	100	300	96,67	10,05
3	500	100	99,26	49,83
4	500	300	<b>99,35</b>	<b>49,87</b>
5	300	200	98,90	29,87
6	300	200	98,94	29,88
7	300	200	98,78	29,83

Com base nos resultados experimentais, verifica-se que a argila organofílica Bofe apresentou elevados percentuais de remoção de gasolina. Os dados apresentados indicam que o maior percentual de remoção foi encontrado no ensaio 4 (500 ppm e 300 rpm), tendo sido removidos 99,35% de gasolina emulsionada, com capacidade de remoção de 49,87 mg de gasolina por grama de argila Bofe organofílica.

No ensaio 3 (500 ppm e 100 rpm), é possível observar um percentual de remoção de 99,26% menor em relação ao apresentado no ensaio 4, que foi de 99,35%, podendo assim, ser considerado tão eficiente quanto o ensaio 4. Foi verificado que, em altas concentrações a agitação, elevou a eficiência da argila tanto para o percentual quanto para a capacidade de remoção.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir do difratograma de raios foi possível verificar mudanças significativas nos valores das distâncias interplanares das esmectitas, devido à intercalação do sal quaternário de amônio na estrutura interlamelar das argilas. A espectroscopia na região do infravermelho apresentou o surgimento de novas bandas de  $CH_2$  e  $CH_3$ , que correspondem ao sal quaternário de amônio.

As eficiências da capacidade de adsorção mostraram que as argilas Bofe e Chocolate B organofílica adsorveram o solvente orgânico estudado (gasolina) mais eficientemente do que nas suas formas sem tratamento. Mas ainda assim, a argila Bofe possui maior afinidade a gasolina, quando comparado com a argila Chocolate B.

Os resultados de percentagem de remoção e capacidade de remoção em sistema de banho finito da argila Bofe apresentaram ótimos valores, onde foram obtidos resultados de remoção acima de 99% para gasolina, com capacidade de remoção de aproximadamente 50 mg de gasolina por cada grama de argila organofílica, evidenciando que a argila Bofe organofílica é eficiente na remoção de gasolina em sistema de banho finito.

## REFERÊNCIAS

AIVALIOTI, M.; D. POTHOUlaki.; P. PAPOULIAS. Removal of BTEX, MTBE and TAME from aqueous solutions by adsorption onto raw and thermally treated lignite. *J. Hazard. Mater.* v. 208, p.136-146, 2011.

ALTER, GR. Organophilic cost effectively removes oil from produced water. *Oil Gas J.* v. 95, p.15-25, 1997.

BERTAGNOLLI, C.; KLEINÜBING, S. J.; SILVA, M. G. C. Preparo e avaliação de argilas Verde-Lodo organofílicas para uso na remoção de derivados de petróleo. *Scientia Plena*, v. 5, p.1-7, 2009.

GIL. A.; F. ASSIS.; S. ALBENIZ.; S. KORILI. Removal of dyes from waste water by adsorption on clays pillared. *Chem. Eng. J.* v.168, p. 1032-1040, 2011.

HUSSEIEN M.; AA AMER.; A. EL-MAGHRABY. Taha Availability of barley straw application on oil spill clean up. *J. Environ. Sci. Technol.* v. 6, p. 123-130, 2009.

KOZAK, M.; DONKA, L. Adsorption of the quaternary ammonium salts on montmorillonite. *J. Phys. Chem. S.*, v.65, p.441-445, 2004.

LAGALY, G.; BERGAYA, F.; THENG, B. K. G. *Handbook of Clay Science. Developments in Clay Science*, Elsevier Science, Amsterdam, v. 1, 2006.

LEITE, I. F.; RAPOSO, C. M. O.; SILVA S. M. L. Caracterização estrutural de argilas bentoníticas nacional e importada: antes e após o processo de organofilização para utilização como nanocargas. *Cerâmica*, v.54, p.303-308, 2008.

NGUYEN, V. N.; NGUYEN, T. D. C.; DAO, T. P.; THUAN, H. T.; BANG, D. N.; AHN, D. H. Synthesis of organoclays and their application for the adsorption of phenolic compounds from aqueous solution. *J. Ind.Eng.Chem.* v. 19, p. 640-644, 2013.

OLIVEIRA, G. C.; MOTA, M. F.; SILVA, M. M.; RODRIGUES, M. G. F.; LABORDE, H. M. Performance of natural sodium Clay treated with ammonium salt in the separation of emulsified oil in water. *Oil Gas J. B.* v. 6, p. 171-183, 2012.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, Diretrizes para a qualidade da água potável: Organização Mundial de Saúde, Distribuição e Vendas, Genebra 27, Suíça CH-1211, 2004.

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; VALENZUELA-DÍAZ, F. R. Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. *Cerâmica*, v.54, p. 213-226, 2008.

PEREIRA, K. R. O.; RODRIGUES, M. G. F.; VALENZUELA-DIAZ, F. R. Síntese e caracterização de argilas organofílicas: comparação no uso de dois métodos. *Rev. Elet. Mat. Proc*, v. 2, p. 1-8, 2007.

RODRIGUES, S. C. G.; RODRIGUES, M. G. F.; PEREIRA, K. R. O.; VALENZUELA-DÍAZ, F. R. Performance of organophilic Clay as adsorbent in the oil/water separation process. *Oil Gas J. B.* v.4, p.49-58, 2010.

SANTANDER, R.T.; RODRIGUES, J. RUBIO. Modified jet flotation oil (petroleum) separations water emulsion. *Coll. Surf. A*, v. 375 p. 237-244, 2011.

SILVA, M. M.; PATRÍCIO, A. C. L.; LIMA, W. S.; LABORDE, H. M.; RODRIGUES, M. G. F. Preparação e avaliação da argila verde organofílica usando diferentes concentrações de surfactante catiônico visando seu uso na separação óleo/água. *Scientia Plena*, v. 7, p.171-180, 2011.

SU. D.; J. WANG.; K. LIU.; D. ZHOU. Kinetic Performance of oil field produced water treatment by biological aerated filter. *Chin. J. Chem. Eng.* v.15, p. 591-594, 2007.

WANG, C. C.; JUANG, L. C.; LEE, C. K.; HSU, T. C.; LEE, J. F.; CHAO, H. P. Effects of Exchanged Surfactant Cations on the Pore Structure and Adsorption Characteristics of Montmorillonite. *J. Coll. I. Sc.*, v.280, p. 27-35, 2004.

ZHOU, Q.; XI, Y.; HE, H.; FROST, R. Application of near infrared spectroscopy for the determination of adsorbed *p*-nitrophenol on HDTMA organoclays-implications for the removal of organic pollutants from water. *Spectr. Acta Part.* v.69, p.835-841, 2008.