

## ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DA LAMA VERMELHA PARA A REMOÇÃO DE CORANTES EM EFLUENTES TÊXTEIS

Ernesto Batista da Silva Filho e Maria Cristina Moreira Alves

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária, 50740-521 Recife – PE, Brasil

Maurício da Motta\*, Eveline Haiana da Costa Oliveira e Walter Brander Junior

Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária, 50740-521 Recife – PE, Brasil

Recebido em 12/1/07; aceito em 11/10/07; publicado na web em 9/4/08

STUDY ON THE USE OF RED MUD FOR REMOVAL OF DYES FROM TEXTILE EFFLUENTS. Red mud is the principal residue of the alumina ( $Al_2O_3$ ) industry. Generated during the Bayer process, it is characterized by strong alkalinity and ion exchange. Iron oxides are the principal component (30 to 60%). Annually millions of tons of red mud are generated in the world. Red mud disposal is responsible for a large part of the cost of alumina production. On the other hand, textile industry wastewaters containing dyes have a great impact on the environment and on human health. In this paper the possibility of applying red mud for the removal of dyes was investigated by two processes: adsorption and degradation by the Fenton reagent.

Keywords: Fenton reagent; alternative adsorption; Bayer process.

## INTRODUÇÃO

A lama vermelha é a denominação genérica para o resíduo insolúvel gerado durante a etapa de clarificação do processo Bayer de produção de alumina. A lama vermelha é constituída por partículas muito finas (cerca de 95% < 44 micron, i.e. 325 mesh), tendo como principal característica uma elevada alcalinidade (pH 10-13) e alta área superficial ( $13-22 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ).<sup>1-5</sup>

A composição química da lama vermelha varia extensamente e depende da natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada planta industrial. Normalmente, a lama vermelha retém todo ferro, titânio e sílica presentes na bauxita, além do alumínio que não foi extraído durante o refino, combinado com sódio sob a forma de um silicato hidratado de alumínio e sódio de natureza zeolítica.<sup>2,6</sup> Além destes, podem estar presentes como elementos-traço os óxidos de V, Ga, P, Mn, Mg, Zn, Th, Cr, Nb.<sup>7</sup> As fases minerais mais comuns são a hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), a goetita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), a magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), a boemita ( $\gamma\text{-AlOOH}$ ), o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), a sodalita ( $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$ ) e a gipsita ( $\text{CaSO}_4$ ), com menor presença de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) e gibisita ( $\text{Al(OH)}_3$ ).<sup>1,7-9</sup> A Figura 1 apresenta os valores máximos e mínimos para os principais componentes da lama vermelha extraídos de uma extensa revisão,<sup>10</sup> bem como a composição de duas amostras obtidas no Brasil.

Os problemas ambientais provenientes da disposição não adequada da lama vermelha vão da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do solo, danos à flora e à fauna, corrosão de equipamentos metálicos até o impacto visual sobre extensas áreas. Os custos associados a manejo e disposição da lama vermelha representam uma grande parte dos custos de produção da alumina.<sup>11</sup>

A literatura apresenta controvérsia quanto à toxicidade da lama vermelha. A lama vermelha não é particularmente tóxica,<sup>12</sup> inclusive, a *Environmental Protection Agency (EPA)* não classifica a lama vermelha como um rejeito perigoso.<sup>13</sup> Entretanto, a lama vermelha, devido à presença de elevados valores de cálcio e hidróxido de

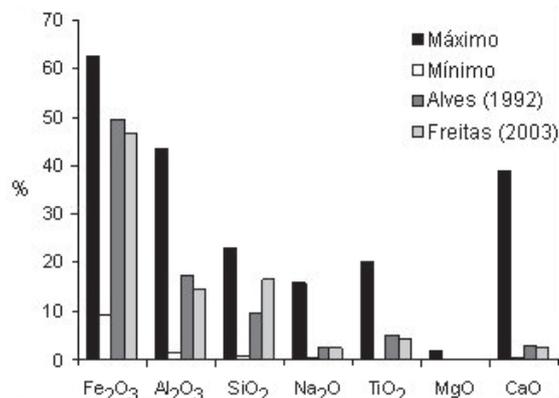


Figura 1. Variação da composição da lama vermelha segundo diversos autores

sódio, é considerada tóxica, na medida em que pode constituir um perigo para as populações vizinhas.<sup>11</sup> Outros relatos encontrados na literatura apontam para os riscos ao meio ambiente associados à lama vermelha, em função de sua elevada alcalinidade e capacidade de troca iônica.<sup>14,15</sup>

O Brasil é o 3º terceiro maior produtor mundial de alumina. Entretanto, dados sobre a geração de lama vermelha são praticamente inexistentes. Porém, como são geradas entre 1 a 2 t de lama vermelha por tonelada de alumina produzida, algumas inferências sobre geração de lama vermelha podem ser tiradas a partir dos dados existentes sobre a produção de alumina, obtendo-se os dados apresentados na Tabela 1.

Observa-se por esta estimativa, de caráter apenas ilustrativo, que a geração de lama vermelha pode ter alcançado a impressionante marca de 8,0 milhões de t em 2003. Porém, os investimentos atuais no setor e, principalmente os futuros, pretendem elevar a capacidade de produção de alumina do Brasil para mais de 6,3 milhões de t/ano, aumentando significativamente a quantidade de lama vermelha gerada. Estas inferências alertam para a dimensão do problema ambiental que a lama vermelha representa no Brasil.

\*e-mail: mottas@ufpe.br

**Tabela 1.** Estimativa da geração de lama vermelha a partir da produção de alumina no Brasil, tomando-se como base a relação tonelada produzida de lama vermelha por tonelada de bauxita produzida

Ano	Alumina (10 <sup>6</sup> t)	Lama vermelha (10 <sup>6</sup> t) Relação de geração 1:1	Lama vermelha (10 <sup>6</sup> t) Relação de geração 2:1
1999 <sup>16</sup>	3.515	3.515	7.030
2000 <sup>17</sup>	3.754	3.754	7.508
2001 <sup>17</sup>	3.520	3.520	7.040
2002 <sup>16</sup>	3.962	3.962	7.924
2003 <sup>16</sup>	4.000 <sup>(*)</sup>	4.000	8.000

<sup>16</sup> United States Geological Survey Mineral Resources Program (USGSMRP), 2006; <sup>17</sup> Associação Brasileira do Alumínio (ABAL), 2003; \* Estimado.

Por outro lado, a remoção de corantes tem merecido especial atenção nos últimos anos,<sup>18</sup> devido aos seus efeitos sobre o meio ambiente e a saúde humana. Aproximadamente 12% dos corantes sintéticos são perdidos durante o processamento e pelo menos 20% dos corantes utilizados nas indústrias têxteis penetram no ambiente através dos efluentes industriais, podendo chegar até a 50%.<sup>19</sup>

A poluição dos corpos d'água por corantes afeta os ciclos biológicos, principalmente os processos de fotossíntese.<sup>20</sup> Os riscos à saúde humana variam em função do tipo, forma e do tempo de exposição ao corante, podendo causar dermatites e problemas respiratórios e, em casos de intoxicação crônica, podem ter efeitos carcinogênicos e mutagenéticos. Os efeitos carcinogênicos dos corantes podem ser potencializados pela biotransformação, isto é, pela ação de microrganismos produzindo substâncias de maior efeito carcinogênico, tais como aminas, toluidinas, benzidinas, entre outras, reforçando a importância de um tratamento adequado dos efluentes.<sup>21,22</sup> Entretanto, muitos destes corantes apresentam complicadas estruturas aromáticas, desenvolvidas para serem altamente resistentes aos microrganismos. Essa característica reduz drasticamente a eficiência dos processos biológicos de tratamento.<sup>23</sup> Estudos comprovam a resistência dos corantes aos tratamentos biológicos.<sup>24-27</sup>

Neste trabalho são apresentadas duas abordagens sobre a possibilidade de aproveitamento da lama vermelha na remoção de corantes presentes em efluentes têxteis: experimento E1 (adsorvente) e experimento E2 (catalisador para geração do reagente Fenton).

## PARTE EXPERIMENTAL

### Experimento 1 – E1 (adsorção)

#### Lama vermelha

A lama vermelha quando *in natura* não apresenta bom rendimento como adsorvente.<sup>28,29</sup> Entretanto, processos de ativação como tratamentos ácidos,<sup>30,31</sup> com águas ricas em íons de Mg<sup>2+</sup>,<sup>1</sup> ou tratamento térmico<sup>28</sup> ou ainda pela combinação destes métodos<sup>32</sup> conferem à lama vermelha características que a tornam um adsorvente bastante interessante.

As amostras de lama vermelha utilizadas foram secas em estufa a 105 °C, removendo o excesso de umidade, para em seguida serem tratadas termicamente através de calcinação a 550 °C, ativando suas propriedades de adsorção. As amostras de lama vermelha utilizadas neste estudo foram cedidas pela Alunorte S/A.

#### Remazol Black B

O Remazol Black B (C<sub>26</sub>H<sub>21</sub>N<sub>5</sub>Na<sub>4</sub>O<sub>19</sub>S<sub>6</sub>) é um dos mais antigos corantes reativos e um dos mais utilizados pela indústria têxtil.<sup>33</sup> Seu peso molecular é de 991,82 g.<sup>34</sup> Apresenta em sua estrutura dois grupos azo (-N=N-) ligados a sistemas aromáticos, que constituem o grupo cromóforo, que absorve no comprimento de onda de 597 nm.

Foram utilizados 2 L de efluente sintético (ES1), solução com 10 mg/L do corante Remazol Black B (Dystar) tamponada a pH 4, cuja preparação envolveu os seguintes procedimentos: preparou-se a solução tampão a partir de 1 L de solução 0,1 M de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e de 1 L de solução 0,1 M de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; em seguida, adicionou-se 20 mg do corante Remazol Black B. O valor do pH foi escolhido em função de estudos anteriores de adsorção utilizando-se mesocarpo do côco.<sup>35</sup>

#### Planejamento experimental

Esta metodologia utiliza ferramentas estatísticas para avaliar a eficiência de um sistema, permitindo também avaliar como as variáveis estudadas e suas interações influenciam na resposta obtida. Consiste em se organizar as variáveis estudadas (variáveis de entrada) em uma série de experimentos, variando-as em níveis altos (+1) e níveis baixos (-1).

A eficiência de adsorção da lama vermelha foi medida através do percentual de remoção (R) de Remazol Black B (RBB), sendo esta a variável de resposta do experimento. As variáveis de entrada foram quantidade de lama vermelha, agitação e tempo de contato. A Tabela 2 apresenta os níveis e a codificação das variáveis. O planejamento experimental realizado foi de resolução 2<sup>3</sup>, resultando em 8 corridas experimentais, realizadas em duplicata, totalizando 16 corridas experimentais.

**Tabela 2.** Codificação e níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental E1

Variáveis	Código	Níveis	
		Inferior (-1)	Superior (+1)
Massa de Lama Vermelha	(M)	0,10 g	0,50 g
Agitação	(A)	300 rpm	700 rpm
Tempo de contato	(t)	1,0 h	2,0 h

#### Procedimento experimental

Constou na realização de ensaios em banho finito, cujo procedimento foi o seguinte: pesou-se uma massa de lama vermelha, diretamente nos erlemeyers. Em seguida, foi feita a adição de uma alíquota de 25 mL de efluente sintético (ES1). Os frascos foram levados para uma mesa agitadora, onde permaneceram sob agitação por um determinado tempo de contato. Os níveis da massa de lama vermelha utilizada, da agitação e do tempo de contato foram estabelecidos pelo planejamento fatorial. Após os ensaios, as amostras foram filtradas em papel de filtro quantitativo e acondicionadas em frascos de polipropileno. A determinação do residual de RBB foi feita através de espectrofotometria na região UV-visível, utilizando o aparelho Fenton – 435, no comprimento de onda 597 nm (adsorção máxima do corante). Cada replicata foi acompanhada de um teste em branco, ou seja, um ensaio em que foi utilizada água deionizada no lugar do efluente sintético, como forma de corrigir erros provenientes da metodologia empregada. Portanto, a concentração ao final da corrida experimental obtida pela Equação 1.

$$C_f = C_i - C_b \quad (1)$$

na qual: C<sub>f</sub>: concentração final; C<sub>i</sub>: concentração inicial; C<sub>b</sub>: concentração da prova em branco.

## Experimento 2 - E2 (reagente Fenton)

### Lama vermelha

Os óxidos de ferro presentes na lama vermelha podem ser utilizados como fonte de íons de ferro para a reação de Fenton ( $H_2O_2/Fe^{2+}$ ). Esta reação se baseia na decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio em contato com íons de ferro em meio ácido, cuja reação geral é representada pela Equação 2.



O reagente Fenton atua na remoção de corantes através da quebra das ligações moleculares.<sup>36</sup>

Neste experimento as amostras de lama vermelha utilizadas foram apenas secas em estufa a 105 °C para remover o excesso de umidade.

### Remazol Black B

Nos ensaios de degradação por reagente Fenton, foi utilizado efluente sintético (ES2) constituído por solução de 100 mg/L do corante Remazol Black B. Foram preparadas duas amostras de 1 L, as quais tiveram o pH ajustado para 3,0 e 7,0, respectivamente.

### Planejamento experimental

As variáveis de entrada foram: massa de lama vermelha utilizada (M), tempo de contato (t) e pH (pH). A variável de resposta foi o percentual de remoção do corante Remazol Black B (R). Os experimentos foram realizados em duplicata, totalizando 16 corridas experimentais. A Tabela 3 apresenta os níveis das variáveis estudadas.

**Tabela 3.** Codificação e níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental E2

Variáveis	Código	Níveis	
		Inferior (-1)	Superior (+1)
Massa de Lama Vermelha	(M)	0,05 g	0,50 g
Tempo de contato	(t)	1 h	4 h
pH	(pH)	3,0	7,0

### Procedimento experimental

O procedimento experimental constou na pesagem de uma massa de lama vermelha diretamente em erlemeyers de 125 mL. Em seguida, adicionou-se 50 mL da solução contendo o corante e, finalmente, adicionava-se  $7,5 \times 10^{-3}$  mol de  $H_2O_2$ . As amostras permaneceram sob agitação durante tempo de contato pré-determinado. Os níveis da massa de lama vermelha utilizada, do tempo de contato e do pH das soluções em cada experimento foram estabelecidos de acordo com planejamento fatorial (Tabela 3).

Após os ensaios as amostras foram centrifugadas e acondicionadas em frascos de polipropileno. Ao final de cada corrida experimental foi realizada a determinação do pH residual das amostras. A determinação do residual de corante foi feita através de espectrofotometria na região UV-visível, comprimento de onda 597 nm (adsorção máxima do corante), utilizando o aparelho Aquamate, Merck.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Experimento 1 - E1 (adsorção)

A Tabela 4 apresenta as matrizes de experimentos gerada pelo planejamento experimental para os dois experimentos, bem como

a média dos resultados das duplicatas obtida para cada uma das corridas experimentais. Uma análise direta dos resultados revela que as melhores condições foram obtidas com a menor massa de lama vermelha, a agitação mais suave e o menor tempo de contato.

**Tabela 4.** Matrizes e resultados experimentais obtidos através do planejamento experimental para as abordagens E1 e E2

Experi- mento	E1 Adsorção			E2 Reagente Fenton						
	M (g)	A (RPM)	t (h)	R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)	M (g)	t (h)	pH	R <sub>1</sub> (%)	R <sub>2</sub> (%)
1	1	1	1	60,38	59,23	1	1	1	95,60	92,37
2	-1	1	1	69,23	68,46	-1	1	1	98,47	98,33
3	1	-1	1	65,77	67,69	1	-1	1	98,15	98,30
4	-1	-1	1	81,15	80,38	-1	-1	1	97,31	97,15
5	1	1	-1	57,33	64,00	1	1	-1	95,34	93,69
6	-1	1	-1	75,00	73,08	-1	1	-1	99,82	99,18
7	1	-1	-1	76,27	81,69	1	-1	-1	97,27	96,94
8	-1	-1	-1	72,31	71,92	-1	-1	-1	99,99	99,89

Na Tabela 5 pode-se observar através da média global que o rendimento dos experimentos foi de 70,24%. Este resultado poderia ser ainda mais elevado, pois como ES1 continha sais de fosfato em sua composição, os íons de  $PO_4^{3-}$  possivelmente competiram com os do RBB pelos sítios de adsorção. Também se podem observar os efeitos e os desvios associados a cada parâmetro e suas interações. Para se avaliar a significância estatística dos efeitos foram calculados os intervalos com 95% de confiança para cada efeito. São considerados estatisticamente significativos os efeitos cujos valores absolutos são superiores ao produto entre o *t* de Student (com 8 graus de liberdade) e o erro padrão (última linha da Tabela 5). O teste *t* de Student revela que a massa de lama vermelha e a agitação apresentaram efeitos significativos; o tempo de contato e sua interação com a agitação não apresentaram significância; todas as demais interações apresentaram significância.

Os resultados apontam a massa de lama vermelha e a agitação como as variáveis estudadas de maior influência no processo e, também, revelam a possibilidade de redução destas variáveis, proporcionando uma economia de material e energia. A variável tempo não apresentou efeito significativo. Entretanto, os melhores resultados para esta variável foram obtidos para o nível mais baixo (-1), sugerindo que o processo de adsorção ocorre de forma muito rápida. Experimentos cinéticos preliminares realizados confirma-

**Tabela 5.** Efeitos principais e interações estimados para E1

Parâmetros	Valores estimados / Erro experimental
Média Global	70,24 ± 0,57
Efeitos principais	
M	-7,40 ± 1,15
A	-8,81 ± 1,15
t	-2,41 ± 1,15
Efeitos das interações	
M x A	-3,81 ± 1,15
M x t	-4,14 ± 1,15
A x t	-0,61 ± 1,15
M x A x t	6,31 ± 1,15
$t_{(8;0,95)} \times S_{efeito}$	2,64

ram esta hipótese.

A utilização da lama vermelha na forma particulada apresenta o inconveniente de deixar cor aparente nas amostras, sendo necessário o desenvolvimento de uma outra apresentação mais adequada, como o encapsulamento em pellets.

### Experimento 2 - E2 (reagente Fenton)

A Tabela 4 apresenta a matriz de experimentos e os resultados obtidos nas corridas experimentais. Observa-se que a remoção do Remazol Black B variou de 92,3 a 99,9%. O erro experimental calculado foi de apenas 0,46%.

A Tabela 6 apresenta a estimativa dos efeitos principais das variáveis estudadas, bem como os efeitos de interação.

**Tabela 6.** Efeitos principais e interações estimados para E2

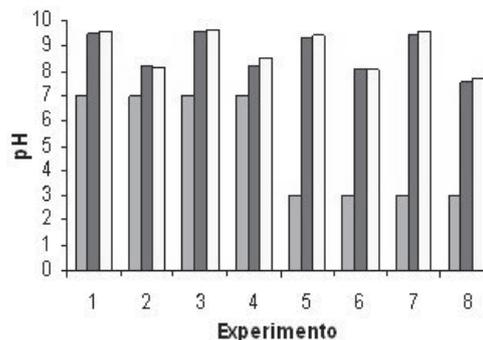
Parâmetros	Valores estimados / Erro experimental
Grande Média	97,36
Efeitos principais	
M	-2,81 ± 0,46
t	-1,53 ± 0,46
pH	-0,80 ± 0,46
Efeitos das interações	
M x t	-1,89 ± 0,46
M x pH	1,10 ± 0,46
t x pH	-0,01 ± 0,46
M x t x pH	-0,82 ± 0,46
$t_{(8,0,95)} \times s_{\text{efeito}}$	1,06

Observa-se pela grande média que o rendimento global dos experimentos foi de 97,36%. Para se avaliar a significância estatística dos efeitos foram calculados os intervalos com 95% de confiança para cada efeito. Novamente, são considerados estatisticamente significativos os efeitos cujos valores absolutos são superiores ao produto entre o *t* de Student (com 8 graus de liberdade) e o erro padrão (última linha da Tabela 6). Portanto, ao se analisar os resultados, observa-se que entre os efeitos principais a massa de lama vermelha (M) e o tempo de contato (t) foram significativos e entre as interações, somente as interações massa-tempo (M x t) e massa-pH (M x pH) foram significativas.

O efeito positivo de M era esperado, uma vez que o ferro presente na lama vermelha é o catalisador da reação de Fenton. A análise de contraste de M revela que ao se passar do nível (+1) para o nível (-1) há um aumento do rendimento de 2,81%, indicando uma redução na massa de lama vermelha utilizada. Este fato ocorreu porque o intervalo de variação de M se baseou em valores presentes na literatura para processo Fenton-like, nos quais se utiliza o ferro presente em solo natural, porém a quantidade de ferro presente na lama vermelha é significativamente maior.

O tempo de contato está relacionado ao tempo necessário para a realização da reação. Apesar do planejamento experimental indicar que os melhores resultados foram obtidos com o menor tempo de contato, observou-se que a reação se prolongava além do tempo de contato.

O pH não apresentou significância. Observando a Figura 2 nota-se que em todos os ensaios houve uma elevação do pH para valores acima dos níveis estudados, provavelmente devido à elevada alcalinidade da lama vermelha.



**Figura 2.** Variação do pH ao final das corridas experimentais: ■ pH inicial, ■ R1 e □ R2

A interação M x t revela que estas variáveis atuam de forma sinérgica. Por outro lado, o mesmo não ocorre para a interação M x pH.

Também foram realizadas análises de varredura do Remazol Black B (Figura 3a), varredura de uma amostra em branco, preparada com a adição de 0,50 g de lama vermelha e 50 mL de água destilada (Figura 3b), de uma amostra (ensaio 6) após o experimento (Figura 3c) e de uma amostra confirmativa contendo apenas o Remazol Black B e o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Figura 3d) para detectar a formação de novas espécies químicas devido a uma possível degradação incompleta do corante. Comparando-se as 4 figuras, nota-se que não há vestígios do corante, confirmando a eficiência do processo.

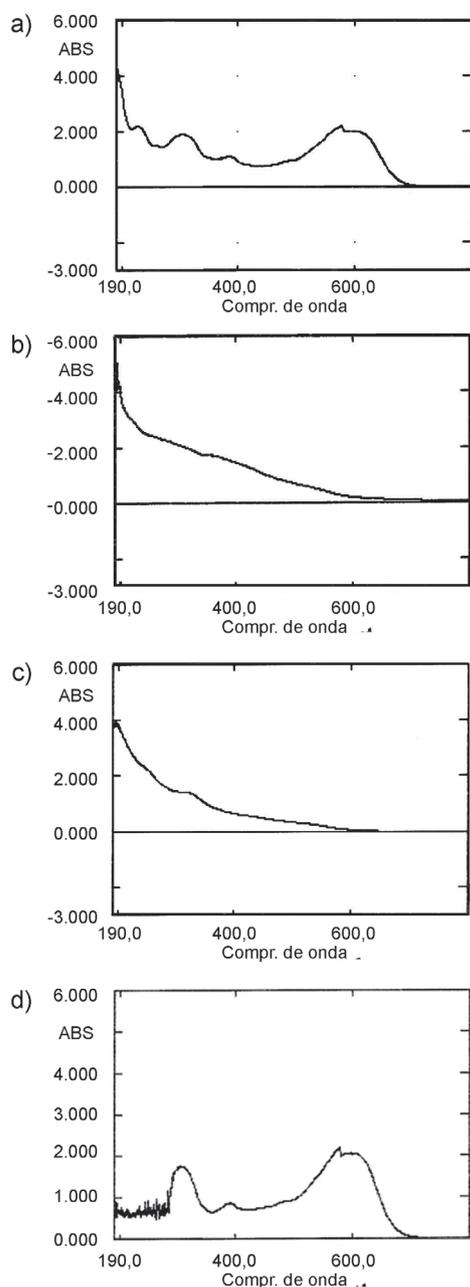
A Figura 4 apresenta o Remazol Black B antes (A) e após o processo (B e C), sendo que B e C correspondem aos níveis -1 e +1 (Tabela 3), respectivamente. Nota-se que no experimento C houve um residual de cor deixado pela lama vermelha, que não foi removido, mesmo após a centrifugação por 15 min. Este residual de cor deveu-se a maior quantidade de lama vermelha utilizada nesse experimento, quando comparado com o experimento B.

## CONCLUSÕES

A lama vermelha apresentou resultados animadores para a remoção do corante Remazol Black B, 70% em média. A agitação e a massa de lama vermelha utilizadas foram as variáveis que apresentaram maior influência sobre o processo. O tempo de contato, apesar de não apresentar efeitos significativos, deve ser melhor avaliado através de ensaios cinéticos. Os resultados também indicaram a tendência de um incremento na remoção à medida que ocorre uma diminuição da quantidade de lama vermelha e do tempo de agitação, possibilitando uma redução do custo do processo.

Os resultados obtidos na degradação do corante Remazol Black B, em média 97%, indicam boas perspectivas na lama vermelha como fonte de ferro para a reação de Fenton. Com relação às variáveis estudadas, verificou-se que a influência do tempo de contato e da massa de lama vermelha utilizada foram significativas. O planejamento experimental indicou que a redução da massa de lama vermelha é favorável à remoção. A variável tempo de contato deve ser melhor avaliada nos próximos experimentos. O pH não apresentou o mesmo comportamento, devido à elevada alcalinidade da lama vermelha, sendo necessária sua neutralização antes de ser utilizada. Entretanto, essa característica pode ser uma vantagem quando o efluente a ser tratado tiver elevada acidez.

Uma desvantagem apresentada em ambos os processos foi o surgimento de cor aparente em algumas amostras. Entretanto, este problema pode ser sanado com o encapsulamento da lama vermelha em um corpo de prova mais adequado, como pellets, o qual é necessário para a sua aplicação industrial.



**Figura 3.** Espectros das amostras: (a) do corante Remazol Black B; (b) da amostras em branco (lama vermelha e água); (c) de uma amostra (ensaio 6) após o experimento; (d) de uma amostra (Remazol Black B e  $H_2O_2$ )



**Figura 4.** Foto das amostras de Remazol Black B: bruta (A) e após tratamento (B e C)

## AGRADECIMENTOS

À Alunorte S.A. por gentilmente disponibilizar as amostras de lama vermelha utilizadas neste trabalho e à Petrobras S.A. pelo financiamento.

## REFERÊNCIAS

- Brunori, C.; Cremisini, C.; Massanisso, P.; Pinto, V.; Torricelli, L.; *J. Hazard. Mater.* **2005**, *B117*, 55.
- Mcconchie, D.; Clark, M.; Davies-Mcconchie, F.; *Proceedings of the 6<sup>th</sup> international alumina quality workshop*, Brisbane, Australia, 2002.
- Wang, S.; Boyjoo, Y.; Choueib, A.; Zhu, Z. H.; *Water Res.* **2005**, *39*, 129.
- Genç-Fuhrman, H.; Tjell, J. C.; Mcconchie, D.; *J. Colloid Interface Sci.* **2004**, *271*, 313.
- Nguyen, Q. D.; Boger, D. V.; *Int. J. Miner. Process.* **1998**, *54*, 217.
- Reese, K. M.; Cundiff, W. H.; *Ind. Eng. Chem.* **1955**, *47*, 1672.
- Pradhan, J.; Das, S. N.; Das, J.; Rao, S. B.; Thakur, R.S.; *Light Met.* **1996**, *87*.
- <http://www.chem.uwimona.edu.jm:1104/lectures/bauxite.html>, acessada em Outubro 2005.
- Yalçın, N.; Sevinç, V.; *Ceram. Int.* **2000**, *26*, 485.
- Silva Filho, E. B.; Alves, M. C. M.; da Motta, M.; *Rev. Matéria* **2007**, *12*, 322.
- Hind, R. A.; Bhargava, S. K.; Grocott, S. C.; *Colloids Surf., A* **1999**, *146*, 359.
- Nunn, R. F.; *Light Met.* **1998**, 107.
- <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr;sid=4da46c2faa13948c8cdced68ab0457a8;rgn=div5;view=text;node=40%3A25.0.1.1.2;idno=40;cc=ecfr#40:25.0.1.1.2.1.1.4>, acessada em Outubro 2005.
- Li, L. Y.; *Waste Management* **2001**, *21*, 525.
- Collazo, A.; Fernández, D.; Izquierdo, M.; Nóvoa, X. R.; Perez, C.; *Prog. Org. Coat.* **2005**, *52*, 351.
- [http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/bauxite\\_and\\_alumina/bauxite\\_and\\_alumina\\_table12.html](http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/bauxite_and_alumina/bauxite_and_alumina_table12.html), acessada em Julho 2006.
- <http://www.abal.org.br/conheca/html/#link1>, acessada em Julho 2003.
- Qamar, M.; Sabiq, M.; Manueer, M.; *Desalination* **2004**, *171*, 185.
- Saqib, M.; Muneer, M.; *Dyes Pigment.* **2002**, *53*, 237.
- Kuo, W. G.; *Water Res.* **1992**, *26*, 881.
- Ferreira, O. P.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2001.
- Zanoni, M. V. B.; Carneiro, P. A.; *Ciência Hoje* **2001**, *29*, 61.
- Shu, H.-Y.; Chang, M.-C.; *Dyes Pigment.* **2005**, *65*, 25.
- Azbar, N.; Yonar, T.; Kestioglu, K.; *Chemosphere* **2004**, *55*, 35.
- Ince, N. H.; Gönenc, D. T.; *Environ. Technol.* **1997**, *18*, 179.
- Pagga, U.; Brown, D.; *Chemosphere* **1986**, *15*, 479.
- Shaul, G. M.; Dempsey, C. R.; Dostal, K. A.; *Chemosphere* **1991**, *22*, 107.
- Sujana, M. G.; Thakur, R. S.; Acharya, B. C.; Das, S. N.; Rao, S. B.; *Light Met.* **1996**, 93.
- Gupta, V. K.; Suhas, I. A.; Ali, I.; Saini, V. K.; *Ind. Eng. Chem. Res.* **2004**, *43*, 1740.
- Álvarez, J.; Ordóñez, S.; Rosal, R.; Sastre, H.; Díez, F. V.; *Appl. Catal., A* **1999**, *180*, 399.
- Apak, R.; Tutem, E.; Hugul, M.; Hival, E.; *Water Res.* **1998**, *39*, 430.
- Genç-Fuhrman, H.; Bregnhøj, H.; Mcconchie, D.; *Water Res.* **2005**, *39*, 2944.
- Arslan, I.; Balcioglu, I. A.; *Dyes Pigment.* **1999**, *43*, 95.
- Wang, C.; Yediler, A.; Lienert, D.; Wang, Z.; Ketrup, A.; *Chemosphere* **2003**, *52*, 1225.
- Leal, C. C. A.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2003.
- Solozhenko, E. G.; Soboleva, N. M.; Goncharuk, V. V.; *Water Res.* **1995**, *29*, 2006.