

III-225 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Marcus Vinicius de Oliveira Ferreira

Engenheiro Ambiental pela USS - Universidade Severino Sombra.

Carla Sant'Anna de Oliveira

Graduanda em Química Industrial pela Escola de Química - UFRJ. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq.

Alexandre Lioi Nascentes⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista pela UERJ. Mestre em Saneamento Ambiental pela Escola Nacional de Saúde Pública - ENSP/FIOCRUZ. Doutorando em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química - UFRJ. Professor Assistente do Departamento de Engenharia da UFRRJ.

Juacyara Carbonelli Campos

Engenheira Química pela Escola de Química - UFRJ. Doutora em Engenharia Química / Tecnologia Ambiental pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química - UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: UFRRJ. Instituto de Tecnologia / Departamento de Engenharia. Rodovia BR 465, km 7 - Seropédica - RJ - Brasil - e-mail: lioi@ufrj.br

RESUMO

A destinação final inadequada dos resíduos sólidos representa um grave problema nos dias de hoje e o lixiviado, formado pela solubilização do chorume nas águas pluviais, pode causar significativo impacto ambiental quando lançado no ambiente sem tratamento adequado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do processo de eletrofloculação para tratamento de lixiviado, em termos de remoção de turbidez, utilizando planejamento fatorial. O estudo foi realizado em reator de bancada, tendo sido avaliada a influência do pH do lixiviado bruto (5, 6 ou 7), do tempo de reação (10, 20 ou 30 minutos) e da intensidade de corrente elétrica (1, 3 ou 5 A), segundo um planejamento fatorial completo com três repetições no ponto central. Os ensaios no ponto central serviram para avaliar a significância da curvatura nos modelos estatísticos e a variabilidade do processo. A maior eficiência (99,4%) foi obtida para pH 5, tempo de reação de 30 minutos e intensidade de corrente elétrica de 5 A. Foi possível descrever a eficiência do processo através de um modelo linear baseado nas três variáveis estudadas, visto que tanto a curvatura quanto o lack of fit foram considerados não significativos, para um nível de significância de 95%.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos sólidos urbanos, lixiviado, chorume, eletrofloculação, planejamento fatorial.

INTRODUÇÃO

A destinação final inadequada dos resíduos sólidos representa um grave problema nos dias de hoje. O desenvolvimento tecnológico resulta em resíduos cada vez mais complexos em sua constituição, com consequentes problemas para seu tratamento e destino final, além de aumentar a complexidade do lixiviado gerado nos aterros onde os resíduos são dispostos.

Um grave problema reside na dificuldade de obtenção de eficiências satisfatórias em sistemas de tratamento de lixiviados, sejam eles físico-químicos ou biológicos. Além disso, segundo Castilhos Junior et al. (2006), a escassez de dados e informações a respeito do tratamento de lixiviados dificulta o projeto dos sistemas de tratamento, que se baseiam, na maioria dos casos, em parâmetros de projetos definidos para esgotos sanitários, os quais não incorporam as peculiaridades do lixiviado.

Um processo possível de ser utilizado no tratamento de lixiviados é a eletrofloculação, no qual ocorre, segundo Wiendl (1998), a solubilização de íons metálicos do eletrodo na massa líquida, através de processos eletrolíticos, promovendo a coagulação e floculação dos sólidos coloidais presentes no efluente a ser tratado. Os eletrodos mais comumente utilizados são de alumínio ou do ferro.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o processo de eletrofloculação para tratamento de lixiviado de aterro sanitário, em termos de remoção de turbidez, em escala de bancada, utilizando planejamento fatorial.

MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de lixiviado foram coletadas no Aterro Sanitário de Pirai/RJ, que entrou em operação em 2000. A população do município é de 25.762, segundo dados estimativos do IBGE para o ano de 2008.

O procedimento experimental consistiu em ensaios de eletrofloculação, realizados em escala de bancada, utilizando eletrodos de alumínio ligados a uma fonte alimentadora de corrente contínua, como representado na Figura 1.

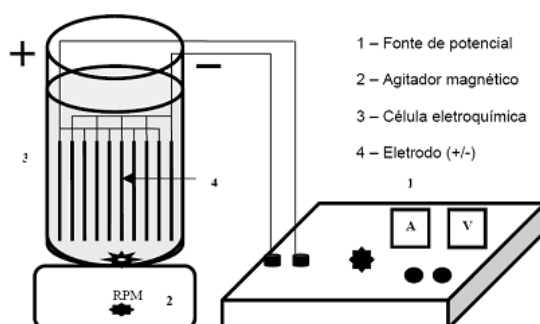


Figura 1: Esquema do aparato experimental (Cerqueira, 2006).

Foi utilizado um béquer de 2 litros como reator e o eletrodo foi construído com oito placas de alumínio intercaladas, conforme apresentado na Figura 2. Cada placa possuía 100 x 50 mm, espessura de 1 mm e espaçamento entre as placas de 10 mm.



Figura 2: eletrodo de alumínio utilizado no experimento.

Para a Análise Fatorial, incluindo a determinação do modelo e a análise de variância, foi utilizado o software Design Expert 7.1.6, da Stat Ease. As faixas de estudo de cada variável podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1: Faixas de estudo, definidas durante o delineamento experimental.

Variável	Unidade	Variáveis Codificadas			Variáveis Decodificadas		
		Mínimo	Central	Máximo	Mínimo	Central	Máximo
pH	-	-1	0	1	5	6	7
Tempo de Reação	minutos	-1	0	1	10	20	30
Intensidade de Corrente	Amperes	-1	0	1	1	3	5

Por se tratarem de três variáveis a serem analisadas, foram pré-definidos onze experimentos com diferentes combinações de valores das variáveis estudadas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Delineamento Experimental.

Amostras	pH	Tempo (min.)	Corrente (A)
1	6.00	20.00	3.00
2	7.00	10.00	5.00
3	5.00	30.00	1.00
4	7.00	30.00	1.00
5	5.00	10.00	5.00
6	7.00	30.00	5.00
7	5.00	30.00	5.00
8	7.00	10.00	1.00
9	6.00	20.00	3.00
10	6.00	20.00	3.00
11	5.00	10.00	1.00

A amostra de lixiviado foi conservada em refrigeração adequada e antes do início do experimento houve o ajuste do pH inicial (5, 6 e 7), de acordo com o estabelecido no delineamento experimental.

Para a realização do experimento, o reator foi submetido a agitação de baixa intensidade, para evitar o acúmulo de flocos no eletrodo e a corrente elétrica foi fornecida por uma fonte de corrente contínua, que media e controlava a corrente fornecida ao sistema. O aparato experimental pode ser visto na Figura 3.

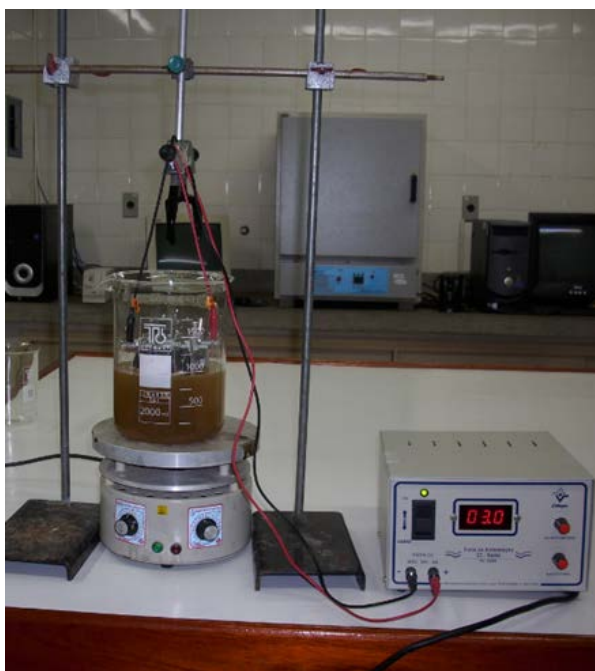


Figura 3: Aparato experimental.

A Figura 4 apresenta detalhe do aparato, durante o experimento, podendo-s observar a formação de flocos no interior do reator.



Figura 4: Detalhe do reator durante o experimento.

Após decorrido o tempo de reação, o efluente foi filtrado em papel filtro (Figura 5), e as análises de turbidez e pH foram realizadas com as amostras filtradas.



Figura 5: Coluna de filtração.

Entre cada experimento os eletrodos eram lavados e sua polaridade invertida, de modo a minimizar os efeitos de desgaste e deposição no eletrodo.

Durante o processo não houve variação significativa de temperatura do ambiente ou do efluente.

RESULTADOS

Os resultados de eficiência de remoção de turbidez são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3: Resultados da eficiência de remoção de turbidez.

Experimento	pH	Tempo (min.)	Corrente (A)	Eficiência (%)
1	6.00	20.00	3.00	98,815%
2	7.00	10.00	5.00	98,456%
3	5.00	30.00	1.00	98,164%
4	7.00	30.00	1.00	95,472%
5	5.00	10.00	5.00	99,171%
6	7.00	30.00	5.00	98,985%
7	5.00	30.00	5.00	99,400%
8	7.00	10.00	1.00	93,504%
9	6.00	20.00	3.00	97,743%
10	6.00	20.00	3.00	98,269%
11	5.00	10.00	1.00	93,281%

Através da análise fatorial, realizada a partir dos dados de eficiência obtidos experimentalmente, apresentados na tabela 2, pôde-se chegar ao modelo matemático, definido pela Equação 1:

$$Ef (\%) = + 0.95 - 4.50 \times 10^{-3} \times pH + 9.50 \times 10^{-4} \times T + 9.74 \times 10^{-3} \times C \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

Ef (%) = Eficiência de remoção de turbidez

pH = Potencial Hidrogeniônico

T = Tempo de Reação (minutos)

C = Corrente (A)

A análise de variância demonstrou que, para nível de significância de 95 %, a curvatura não foi significativa, o que indica que o modelo linear proposto é adequado, e que o lack of fit (variação devido à inadequação do modelo) também não é significativo, validando plenamente o modelo matemático para as condições estudadas.

O Gráfico de Perturbação (Figura 6) indica quais são as variáveis que mais influenciam na eficiência de remoção de turbidez, tomando-se por base o ponto central (pH 6, tempo de 20 minutos e corrente de 3A). Neste gráfico é possível identificar que o parâmetro com maior influência é a intensidade de corrente, por apresentar maior inclinação, e que esta influência é diretamente proporcional, já que a eficiência aumenta com o aumento da corrente. O tempo também apresenta relação direta com a eficiência, porém com menor influência que a corrente, enquanto o pH apresentou relação inversa com a eficiência, indicando melhores resultados em menores valores de pH.

Design-Ease® Software

Ef (%) Turb
 • Ef (%) Turb

Actual Factors

A: pH = 6.00

B: tempo = 20.00

C: Corrente = 3.00

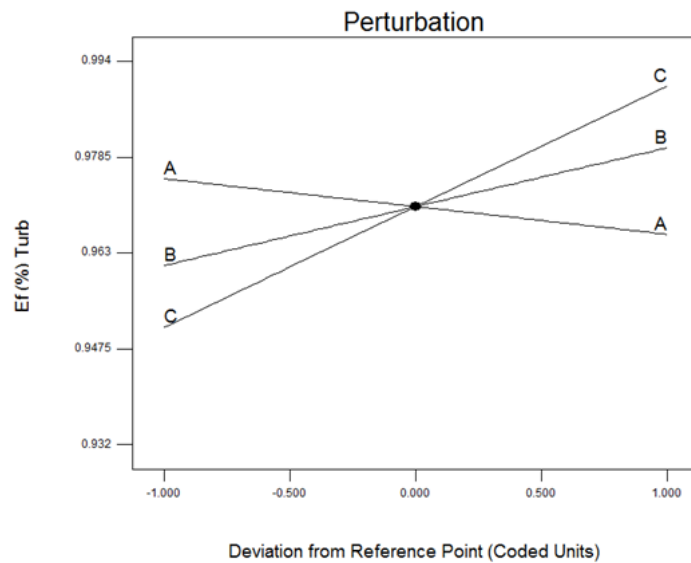
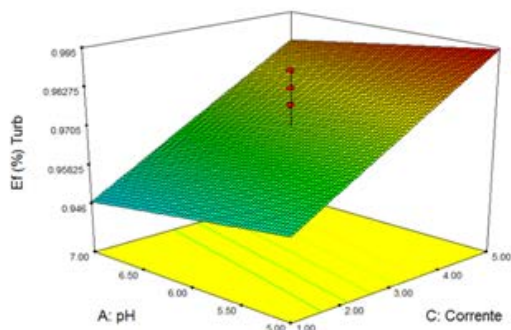
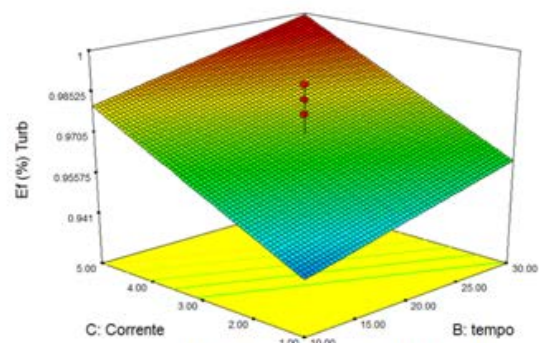


Figura 6: Gráfico de perturbação.

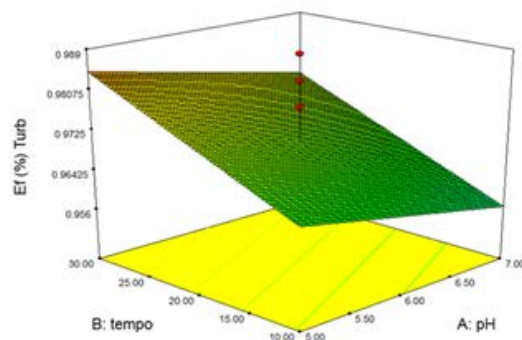
Os gráficos 3D (Figuras 7a, 7b e 7c) apresentam o comportamento da eficiência de remoção de turbidez, de acordo com as variáveis avaliadas, tomadas duas a duas.



a) Ef (%) em função de pH e C.



c) Ef (%) em função de C e T.



b) Ef (%) em função de T e pH.

Figura 7: Gráficos 3D do comportamento de Ef (%) em função das variáveis.

Analisando-se os gráficos 3D, é possível identificar que a máxima eficiência ocorre para o menor valor de pH, para valores máximos de corrente e tempo de reação, nas faixas estudadas.

Apresenta-se, na Figura 8, o aspecto visual do efluente tratado em cada um dos onze experimentos, sendo possível notar, também visualmente, que os resultados dos experimentos 5 e 7 foram os que obtiveram maior clarificação.



Figura 8: amostras do efluente tratado.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- A maior eficiência (99,4%) foi obtida para pH 5, tempo de reação de 30 minutos e intensidade de corrente elétrica de 5 A.
- Foi possível descrever a eficiência do processo através de um modelo linear baseado nas três variáveis avaliadas, visto que tanto a curvatura quanto o lack of fit foram considerados não significativos pela análise de variância, para um nível de significância de 95%.
- Os resultados obtidos indicaram que o processo de eletrofloculação foi extremamente eficiente na remoção da turbidez do lixiviado, embora ainda devam ser melhor estudadas as eficiências de remoção de outros poluentes como matéria orgânica, amônia e metais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CASTILHOS, A.B.J. (Coord.) Gerenciamento de resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos D'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários. PROSAB, 2006.
2. CERQUEIRA, A. A. Aplicação da Técnica de Eletrofloculação no Tratamento de Efluentes Têxteis. Rio de Janeiro, 2006. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Química do Instituto de Química da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.
3. CHEN, X.; CHEN, G.; YUE, P. L., Separation of pollutants from restaurant wastewater electrocoagulation, Separation and Purification Technology, n.19, p. 65-76, 2000.
4. GOMES, L.P. (Coord.) et al. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
5. MOLLAH, M.Y.A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L., Electrocoagulation (EC): science and applications. Journal of Hazardous Materials, v. 84, p. 29-41, 2001.
6. TSAI, C.T., et al. Electrolysis of Soluble Organic Matter in Leachate from landfills. Water Research, v. 31, p. 3073-3081, 1997.
7. WIENDL, W.G., Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, Editora ABES, 1ª Ed., 1998.