

## II-163 – TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS URBANOS UTILIZANDO OS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS COMBINADOS A COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

### **Mirella de Andrade Loureiro**

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Química pela UFPE. Doutoranda em Engenharia Química na UFPE.

### **Ícaro Valença da Cunha Lima**

Graduando do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

### **Joelma Morais Ferreira**

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestre em Engenharia Química pela UFPB e Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Pós Doutoranda na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), bolsista do Programa Nacional de Pós Doutorado (CAPES) e Co-Orientadora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química da UFPE.

### **Mohand Benachour**

Engenheiro Químico pela Ecole Nationale Polytechnique D' Alger, mestre em Engenharia Biológica pela Université de Technologie de Compiègne, doutor em Engenharia de Processos pela Institut National Polytechnique de Lorraine e pós-doutorado pela Université Henry Poincaré(1991). Professor Associado 4 da Universidade Federal de Pernambuco.. Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da UFPE. Bolsista DTI do CNPq.

### **Maurício Alves da Motta Sobrinho**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco, Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande e Doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Química e em Engenharia Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq desde 2004.

**Endereço<sup>(5)</sup>:** UFPE - Departamento de Engenharia Química - Rua Prof. Arthur de Sá, s/n - Cidade universitária - Recife - PE - CEP 50.740-521- Brasil - Tel: +55 (81) 2126-7268 - Fax: +55 (81) 2126-7278 - e-mail: [mottas@ufpe.br](mailto:mottas@ufpe.br).

## **RESUMO**

O presente projeto de pesquisa, fundamentado nas necessidades de melhoramento no tratamento do lixo e seus derivados, gerados na Região Metropolitana do Recife (RMR), propõe um estudo para a degradação do lixiviado gerado em aterros sanitários. Assim sendo, este trabalho faz uso dos Processos Oxidativos Avançados (POA) combinados às técnicas de precipitação por coagulação/floculação como alternativas para o tratamento do mesmo. Inicialmente, foram realizadas coletas do lixiviado proveniente de aterro da Muribeca (Jaboatão dos Guararapes-PE), o qual está desativado desde 2009. O lixiviado coletado foi submetido ao processo de precipitação por coagulação/floculação utilizando como agente coagulante o hidróxido de cálcio. Em sua condição otimizada, o lixiviado preliminarmente tratado foi submetido à oxidação avançada. Foi obtida uma degradação máxima de 48,37% do lixiviado tratado por coagulação/floculação e de 59,34% do lixiviado bruto de DQO, na condição ótima.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, Precipitação Química, Oxidação Avançada.

## **INTRODUÇÃO**

Os problemas relacionados ao descarte do lixo gerado nas grandes cidades é um dos mais contundentes problemas de saúde pública encontrados nas sociedades modernas. A decomposição deste resulta em gases emitidos e um líquido escuro de odor fortemente desagradável, com alta carga orgânica, chamado chorume.

Este líquido, com a precipitação natural, torna-se um lixiviado que é resultado da mistura da água que infiltra e percola através dos resíduos com os produtos da decomposição destes mesmos resíduos (Souto, 2009). É um

líquido potencialmente poluidor que pode causar efeitos prejudiciais aos lençóis freáticos e às águas superficiais localizadas nas proximidades do aterro, se não for adequadamente tratado e descartado para o meio ambiente de maneira cuidadosa e controlada (Salem et al., 2008).

Os lixiviados são o resultado da percolação de água, através da massa de resíduos, acompanhada de extração de materiais dissolvidos ou em suspensão, na maior parte das vezes formam-se a partir de água com origem em fontes externas tais como a chuva, escoamentos superficiais, águas subterrâneas ou águas de nascente e da decomposição dos resíduos (Dinis, 2004).

Há inúmeros fatores que afetam as características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados, por exemplo, idade do aterro, composição e características dos resíduos aterrados (em função das características da população), conteúdo de umidade, precipitação pluviométrica, aspectos climáticos e hidrogeológicos, estações do ano, características do solo, tipo de operação e gerenciamento do aterro, atividade da flora microbiana, além das próprias condições internas do aterro (temperatura, conteúdo de umidade, fase de biodegradação entre outros) (El-Fadel et al., 2002; Renou et al., 2007).

A decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento de lixiviado deve ser fundamentada em uma avaliação com critérios técnicos e econômicos, com a apreciação de parâmetros quantitativos e qualitativos, vinculados essencialmente à realidade em foco (Lima et al., 2005). De acordo com Souto & Povinelli (2007) as falhas na operação de uma estação de tratamento podem ser resultado da aplicação de tecnologia inapropriada ou do dimensionamento inadequado das unidades.

De maneira geral, não há tecnologia que, atuando isoladamente, consiga tratar o efluente tão complexo como o lixiviado. Os métodos convencionais de tratamento de lixiviado podem ser classificados em quatro grandes grupos: transferência de lixiviado – recirculação, evaporação e tratamento combinado com esgotos; métodos biológicos aeróbios e anaeróbios; métodos físicos e químicos – adsorção, precipitação química, coagulação/floculação, oxidação química, air stripping ou remoção de amônia por injeção de ar e filtração por membranas; e por fim, métodos alternativos – wetlands construídos e o sistema de barreira bioquímica. (Renou et al. 2007; Kurniawan et al., 2006b; Wiszniowski et al., 2006; Iwai, 2005; Beltrão, 2006).

No Brasil são realizados diversos processos de tratamento de lixiviados, porém, a maioria com baixa eficiência ou nenhuma. A aplicação desses processos de tratamento tem por objetivo principal a redução das concentrações de compostos orgânicos e de N-amoniacal (Bidone, 2007).

Tendo em vista o desenvolvimento do processo de tratamento de lixiviado derivado da decomposição anaeróbia da matéria orgânica presente em aterros sanitários, o presente plano de trabalho tem como objetivo geral o tratamento preliminar do lixiviado por uso do processo de precipitação por coagulação/floculação seguida da descontaminação do lixiviado por uso dos Processos Oxidativos Avançados (POA) derivados da ação do reagente de Fenton.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A coleta do lixiviado foi realizada na caixa de vazão localizada entre a lagoa de decantação e lagoa anaeróbica da Estação de Tratamento de Lixiviados do Aterro da Muribeca, localizado na Região Metropolitana do Recife (PE). O lixiviado foi coletado em bombonas de polietileno com capacidade de volume de 20 litros e foi conservado sob refrigeração até a sua utilização.

A pesquisa foi dividida em três etapas. Na primeira, foi feita a caracterização do lixiviado bruto, em seguida, foi realizado o tratamento preliminar do lixiviado bruto por precipitação química e, finalmente, foi realizado o tratamento por oxidação avançada do lixiviado previamente tratado por coagulação/floculação.

### **Caracterização do Lixiviado Bruto**

A metodologia adotada para a caracterização das amostras de lixiviado foi baseada nos procedimentos estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al, 1998).

Foi realizada uma caracterização simples, onde foram quantificados os seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), pH, Cor, Turbidez e Série de Sólidos.

### Tratamento Preliminar por Coagulação/Floculação

Após a coleta e caracterização da amostra, realizou-se o tratamento do lixiviado através do método físico-químico de coagulação/floculação. Nesses ensaios, o agente coagulante usado foi o hidróxido de cálcio SP diluído em água destilada (leite de cal) e foi realizado o planejamento fatorial descrito em Mello (2012). No caso, utilizou-se o hidróxido de cálcio SP diluído em água destilada com concentração de 200 g/L e velocidade de coagulação (V<sub>c</sub>) de 110 rpm. A Tabela 1 apresenta os níveis das variáveis utilizados no planejamento fatorial 2<sup>4</sup> durante a etapa de precipitação química.

**Tabela 1:** Níveis das Variáveis do Planejamento Fatorial 2<sup>4</sup> para a Precipitação Química

Níveis	Vf (rpm)	Tf (min)	Tc (seg)	Td (min)
-1	20	2	10	30
0	40	4	30	60
1	60	6	50	120

Os ensaios de tratabilidade do lixiviado foram realizados em um equipamento denominado “Jar Test”. Em cada béquer utilizou-se 450 mL de lixiviado e 50 mL de leite de cal, então foi medida a cor e os dados obtidos através do planejamento foram analisados no software *Statistica Versão 5.0*.

### Aplicação dos POA no Lixiviado Tratado por Precipitação Química

Após o tratamento do lixiviado bruto através do método físico-químico coagulação/floculação em sua melhor condição, aplicou-se o POA utilizando como reagentes uma solução de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em concentração de 56,4% (v/v) e sulfato ferroso heptahidratado (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) sólido.

Nesta etapa, os ensaios foram realizados em béqueres de 600 mL contendo 200 mL do lixiviado pré-tratado, foi realizado o ajuste de pH igual a 3 com ácido sulfúrico (adição lenta), e foram adicionados a solução de peróxido de hidrogênio e o sulfato ferroso heptahidratado, deixando sob radiação ultravioleta (luz negra) ou sem radiação seguindo o planejamento fatorial 2<sup>3</sup> cujos níveis estão descritos na Tabela 2. Após um tempo de reação de 60 minutos, amostras foram retiradas e quantificadas suas DQO.

**Tabela 2:** Níveis das Variáveis do Planejamento Fatorial 2<sup>3</sup> para POA.

Níveis	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Fe:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Rad. UV
	Fator*	Valor (g/L <sup>-1</sup> )	Proporção**	Valor (g/L <sup>-1</sup> )	
-1	0,5	1,97	1:10	3,57	Sem radiação
1	1,5	5,64	1:1	0,35	Com radiação

\* Fator de multiplicação x 2,125 g de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para cada g de DQO do lixiviado tratado por coag/floc;

\*\* Proporção FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O : Concentração de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 56,4% (v/v) em relação à quantidade estequiométrica de O<sub>2</sub> necessária para a estabilização total da DQO.

(DQO<sub>lixiviado tratado por coag/floc</sub> = 1682,58 mg/L)

Este planejamento é classificado como misto por ser composto de uma variável qualitativa e duas quantitativas por isso não foi possível obter os pontos centrais.

Após o planejamento anterior, foi encontrado o ensaio onde houve maior degradação e este foi realizado utilizando o lixiviado sem o tratamento preliminar, ou seja, lixiviado bruto, a fim de se comparar os percentuais de degradação e constatar se realmente seria necessário fazer um pré-tratamento.

## RESULTADOS

### Caracterização do Lixiviado

O lixiviado utilizado, coletado na entrada da Estação de Tratamento de Chorume (ETC) do aterro da Muribeca no dia 28 de fevereiro de 2012, foi analisado sob alguns parâmetros, a fim de caracterizar a sua composição, a Tabela 3 contém os dados da caracterização.

**Tabela 3:** Caracterização do Lixiviado Bruto

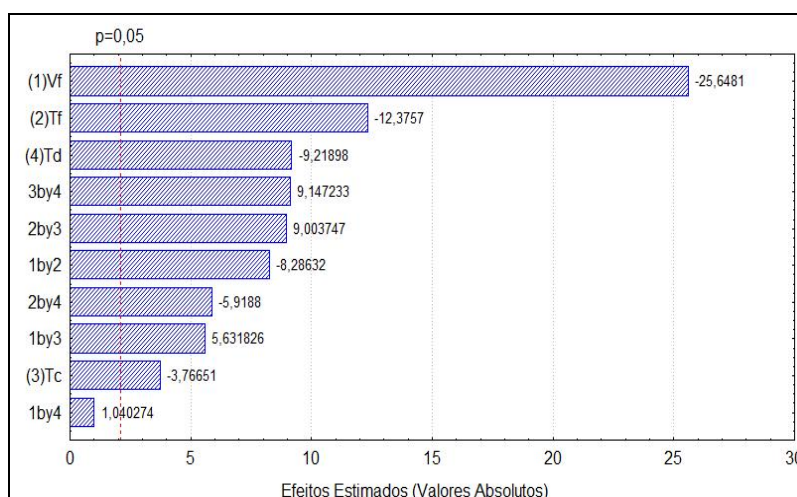
Parâmetros	Resultados	Parâmetros	Resultados
DQO (mg/L)	1956,88	SST (mg/L)	10
DBO (mg/L)	450	SSV (mg/L)	3,5
pH	8,17	SSF(mg/L)	6,5
Cor (Hz)	4480	ST (mg/L)	6340
Turbidez (NTU)	15,36	SF (mg/L)	1253

A caracterização indica que o lixiviado é alcalino, apresenta baixa DQO e boa degradabilidade (relação DBO/DQO de 0,2). Em relação à série de sólidos, verifica-se que a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (SDT = SV – SST) corresponde a aproximadamente 94% dos Sólidos Totais, podendo indicar que os sólidos dissolvidos predominam na composição do lixiviado. Esse fato contribui para o aumento da concentração da cor do lixiviado, pois ela está diretamente relacionada com os sólidos dissolvidos e colóides, mais especificamente com a presença de substâncias húmicas e fúlvicas.

### Tratamento Preliminar por Coagulação/Floculação

Para o tratamento físico-químico foi realizado um planejamento fatorial  $2^4$  e para a análise estatística dos resultados obtidos nesse trabalho, considerou-se um nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 5%, sendo a confiabilidade dos resultados de 95%.

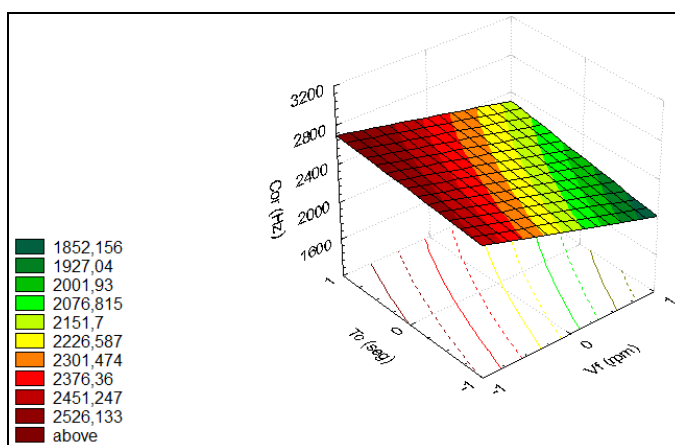
A partir da análise estatística, foi inicialmente plotado o gráfico de Pareto, representado pela Figura 1, para a variável de resposta cor onde verificou-se que a variável velocidade de floculação (Vf) foi o fator que apresentou maior importância significativa sobre a cor.



**Figura 1:** Gráfico de estimativa dos efeitos para o planejamento experimental realizado para o tratamento utilizando precipitação química.

O valor negativo do coeficiente (t-student) significou que menores faixas de cor foram encontradas para valores elevados de velocidade de floculação.

A Figura 2 representa a superfície de resposta gerada para algumas combinações das variáveis de entrada, fixando as demais nos pontos otimizados.

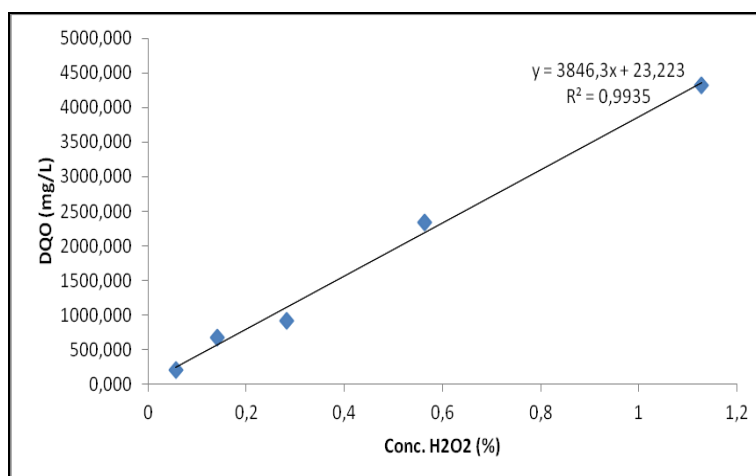


**Figura 2:** Efeito do tempo de coagulação (Tc) e da velocidade de floculação (Vf) sobre a cor.

Utilizando um tempo de floculação de 6 minutos e solução de leite cal de concentração 200g/L, foi obtido remoção de cor do lixiviado de mediana biodegradabilidade aproximadamente 67% de redução, resultados superiores ao de Lins (2011) que utilizando um tempo de floculação semelhante de 5 minutos e uma solução mãe de concentração 150g/L conseguiu reduzir a cor de 6.410 para 5.370, significando cerca de 16% de remoção para o chorume de mediana biodegradabilidade.

#### Aplicação dos POA no Lixiviado Tratado por Precipitação Química

Foi feita uma curva de calibração (Figura 3) da concentração de peróxido de hidrogênio e concentração de dicromato de potássio, a fim de corrigir possíveis alterações no resultado da DQO devido ao peróxido de hidrogênio remanescente na amostra poder reagir com o dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) da solução digestora aumentando o valor da DQO. Foi mensurado o peróxido de hidrogênio residual de cada ensaio do planejamento para obter o valor real da DQO das amostras.



**Figura 3:** Curva de calibração da concentração de peróxido de hidrogênio e concentração de dicromato de potássio

Na Tabela 4 estão contidos os resultados do percentual de redução da DQO do planejamento realizado, descrito anteriormente. A DQO para o lixiviado tratado por coagulação/floculação foi de 3810,199 mg/L, já que esse tratamento foi realizado com lixiviado proveniente de outra coleta realizada no dia 1º de outubro de

2012 no aterro da Muribeca. A caracterização do lixiviado varia dependendo do clima e do tempo no momento da coleta.

**Tabela 4: Percentual de Redução da DQO após Realização do POA no Lixiviado Tratado por Precipitação Química.**

Ensaio	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Rad. UV	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> resid. (%)	DQO corr. (mg/L)	Redução DQO (%)
1	1	1	1	0,22	1967,141	48,37
2	1	1	-1	0,25	3394,506	10,91
3	1	-1	1	45,64	2951,593	22,53
4	1	-1	-1	74,39	3480,617	8,65
5	-1	1	1	0,21	3243,180	14,88
6	-1	1	-1	0,58	2139,312	43,85
7	-1	-1	1	43,23	3262,840	14,36
8	-1	-1	-1	64,37	2694,895	29,27

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que a melhor condição foi para o ensaio 1, ou seja, maior quantidade de peróxido de hidrogênio e ferro com radiação UV negra, foi possível uma degradação máxima de 48,37% do lixiviado tratado por coagulação/floculação e de 59,34% do lixiviado bruto de DQO.

A título de comparação, o ensaio 1 (condição ótima) foi aplicado ao lixiviado bruto, onde obteve-se uma redução de 39,38% da DQO.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O planejamento utilizado para coagulação/floculação foi satisfatório e obteve no seu ponto ótimo aproximadamente 67% de remoção de cor do lixiviado;

A curva de calibração mostrou que realmente o peróxido residual das amostras reagem com o dicromato de potássio (solução digestora) utilizado na metodologia da DQO aumentando este resultado;

Com o planejamento experimental utilizado para realização do POA, foi obtida uma degradação máxima de 48,37% do lixiviado tratado por coagulação/floculação e de 59,34% do lixiviado bruto de DQO, na condição ótima (ensaio 1);

Utilizando os parâmetros do ensaio 1, obteve-se 39,38% de redução da DQO realizada diretamente no lixiviado bruto, então a aplicação do pré-tratamento está contribuindo em aproximadamente 20% de remoção da DQO;

Outros modelos de planejamentos tanto para a precipitação química quanto para o POA devem ser testados para que seja obtidos resultados com melhores ajustes, garantindo um tratamento mais eficiente dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20. ed. Washington: American Public Health Association. 1220 p. 1998.
2. BELTRÃO, K.G.Q.B. Sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de percolado. Tese de Doutorado - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 168 p, 2006.
3. BIDONE, F.R. Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário por um Sistema Composto por Filtros Anaeróbios Seguidos de Banhados Construídos: Estudo de caso - Central de Resíduos do Recreio em Minas do Leão/RS. São Carlos.2007.Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo 2007;
4. BIDONE, R.F. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: estudo de caso: Central de Resíduos do Recreio, em Minas Do Leão/

- RS. São Paulo-SP, 2007 Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 138 p. 2007.
5. DINIS, J. Lixiviados de Aterros Sanitários. Setor de Tecnologias do Ambiente. Escola Superior Agrária de Coimbra. Coimbra. Portugal, 2004
  6. EL-FADEL, M., BOU-ZEID, E., CHAHINE, W., ALAYLI, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. Waste Management, v. 22, p. 269-282, 2002.
  7. IWAI, C.K. **Tratamento de chorume através de percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos.** Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru-SP. 205 p. 2005.
  8. KURNIAWAN, T.A.; LO, W.; CHAN, G.Y.S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. Journal of Hazardous Materials, n. 28, p. 80-100, 2006b.
  9. LIMA, C.A.A., MUCHA, M.S.; TELES, R.B.; CUNHA, R. Estudos preliminares de estimativa de produção de chorume e avaliação de alternativas de tratamento – Estudo de caso: novo Aterro de Ribeirão Preto-SP. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande-MS 2005.
  10. LINS, E. A. M. Proposição e avaliação de um sistema experimental de processos físicos e químicos para tratamento de lixiviado. Tese de Doutorado - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 277 p, 2011.
  11. MELLO, V. F. B.; ABREU, J. P. G.; FERREIRA, J. M.; JUCÁ, J. F. T.; MOTTA SOBRINHO, M. A. Variáveis no Processo de Coagulação/Floculação/Decantação de Lixiviados de Aterros Sanitários Urbanos - AMBI-ÁGUA, Taubaté.2012.
  12. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. Journal of Hazardous Materials. 2007.
  13. SALEM, Z.; HAMOURI, K.; DJEMAA, R. et al. Evaluation of Landfill Leachate Pollution and Treatment. Desalination.2008;
  14. SOUTO, G. D. B. Lixiviado de Aterros Sanitários Brasileiros – Estudo de Remoção do Nitrogênio Amoniacal por Processo de Arraste com Ar (“stripping”). São Carlos. 2009. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo 2009.
  15. SOUTO, G. D. B. POVINELLI, J. Sanitary Landfills in Brazil: Leachate Strength Data. In: 3º Simpósio Brasil-Alemanha Desenvolvimento Sustentável, 2007.
  16. WISZNIOWSKI, J.; ROBERT, D.; SURMACZ-GORSKA,J.; MIKSCH, K.; WEBER, J.V. Landfill leachate treatment methods: A review. Environmental Chemistry. Letters, v. 4, p. 51-61, 2006.