

III-432 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO NO TRATAMENTO DO LIXIVIADO ORIUNDO DO LIXÃO DE CUIABÁ-MT PELO PROCESSO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO

Thamires Silva Martins⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Mestranda pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

Hélen Cristina Oliveira dos Reis⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

Amanda Finger⁽³⁾

Professora Msc. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – FAET, Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

Endereço⁽¹⁾: Rua Azulão, Quadra 29, Casa 02, Residencial - Recanto do Salvador, Bairro Recanto dos Pássaros – Cuiabá/MT - CEP: 78.000-000 – Brasil. Tel: +55 (65) 99906-8731 - e-mail: thamiresmartinsms@outlook.com

RESUMO

Esta pesquisa buscou realizar o tratamento físico-químico por coagulação-floculação do lixiviado oriundo do Lixão de Cuiabá-MT, verificando a eficiência do coagulante hidróxido de cálcio. A caracterização físico-química da amostra de lixiviado bruto levou em consideração os parâmetros físicos cor real, turbidez, condutividade elétrica, e parâmetros químicos DQO, DBO_{5,20}, relação DQO/ DBO_{5,20}, relação DBO_{5,20}/DQO, pH, fósforo total, nitrogênio NTK e nitrogênio amoniacal, elucidando que o lixiviado tratava-se de um efluente recalcitrante, ou seja, de difícil biodegradação. Foram aplicadas variações nas concentrações dos coagulantes em ensaio de *Jar Test*, analisando a eficiência de remoção dos parâmetros físico cor real e turbidez e do químico DQO. Os resultados obtidos dos ensaios de *Jar Test* demonstraram dosagens ótimas para a remoção dos parâmetros físicos cor real e turbidez de 5.750 mg Ca(OH)₂ L⁻¹, para hidróxido de cálcio. Quanto à DQO, os valores obtidos para o lixiviado pós-tratamento variaram entre 1.667 e 2.214 mg O₂ L⁻¹, tendo sido a maior remoção com a concentração de 5.750 mg Ca(OH)₂ L⁻¹ novamente. Sendo assim, para o hidróxido de cálcio, observou-se que quanto maior a dosagem do coagulante melhor será a otimização dos resultados, tal resultado interfere diretamente no custo do tratamento seja ele primário ou secundário, já que a eficiência do tratamento está diretamente relacionada com a dosagem do coagulante.

PALAVRAS-CHAVE: Lixão de Cuiabá, tratamento físico-químico, coagulação-floculação.

INTRODUÇÃO

O tratamento para os lixiviados de aterros tem recebido significativa atenção nos últimos anos, em especial nos centros urbanos, onde a população tende a um crescimento mais acentuado, e a fiscalização existente é mais efetiva. O lixiviado pode apresentar alta concentração de demanda química de oxigênio e amônia e devido a esta complexidade das características, torna difícil a padronização de uma técnica para o tratamento (UYGUR; KARGV, 2004).

O perigo do mesmo se deve às altas concentrações de poluentes orgânicos, nitrogênio amoniacal, agentes patogênicos e substâncias químicas tóxicas também podem estar presentes. Devido às suas características, o lixiviado deve ser tratado antes de ser lançado no meio ambiente, evitando-se assim maiores riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais, acarretando em sérias consequências para a saúde pública (SILVA, 2011).

Entretanto, o tratamento de lixiviado representa ainda um grande desafio na elaboração dos projetos de aterros sanitários, uma vez que suas características se alteram em função das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, com a idade do aterro (FERREIRA et al., 2001).

A composição química e microbiológica do lixiviado é bastante complexa e variável, uma vez que, além de depender dos resíduos depositados, outros fatores são considerados importantes, como precipitação, forma de operação do aterro e, principalmente, pela dinâmica dos processos de decomposição que ocorrem no interior das células (FELICI, 2010).

O Lixão de Cuiabá continua recebendo grande parte dos resíduos sólidos urbanos produzidos no município, totalizando aproximadamente 600 toneladas diárias. Nesta área foram detectados inúmeros problemas sob o ponto de vista socioambiental, decorrentes da deficiência ou inadequação de sua implantação e operação. Entre as principais deficiências encontradas, podem ser elucidadas o afloramento de líquidos lixiviados, demonstrando a ineficiência do sistema de drenagem de lixiviados existente, bem como a inexistência de um sistema de drenagem superficial eficiente nos taludes e bermas (FRAL, 2016).

Dentro deste contexto, o objetivo desta presente pesquisa foi de avaliar a eficiência do hidróxido de cálcio no tratamento físico-químico do lixiviado oriundo do Lixão de Cuiabá-MT empregando a técnica de coagulação-floculação.

METODOLOGIA

A área de estudo foi o Lixão de Cuiabá-MT, localizado à nordeste da área urbana do município, ao lado do Garimpo do Mineiro, entre o Bairro do CPA, em Cuiabá, e a Rodovia Manoel Pinheiro, que liga Cuiabá à Chapada dos Guimarães. A área do Lixão é de aproximadamente 15,16 hectares e está a aproximadamente 12 quilômetros de distância do centro da cidade, e cerca de 7 quilômetros do bairro mais próximo (Jardim Paraíso II). As coordenadas geográficas da área são respectivamente: 15°30'10" S e 56°01'40" W. Para o presente estudo foram coletados 45 litros de amostras homogêneas de lixiviado, coletadas em uma de suas lagoas de lixiviado, onde o lixiviado apresenta relação $DBO_{5,20}/DQO = 0,20$.

Após a coleta as amostras foram inseridas em galões de polietileno de 5 litros cada, conduzidas e armazenadas devidamente em laboratório. Todas as análises de caracterização do lixiviado bruto foram realizadas antes do experimento de bancada. As análises estão listadas a seguir: pH, condutividade elétrica, temperatura, turbidez, DQO (Demanda Química de Oxigênio), $DBO_{5,20}$ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), fósforo, nitrogênio total (Método Kjeldahl), cor real e nitrogênio amoniacal.

Os ensaios de bancada objetivaram a determinação da melhor dosagem do coagulante. Com o tempo de mistura rápida e mistura lenta determinados por metodologia citada por Bila et al. (2002) e Mello (2011), para a determinação da melhor dosagem foram realizadas uma série de ensaios para o coagulante utilizado, e a fim de aprimorar o trabalho foram realizadas as seguintes análises: turbidez, cor real e DQO, onde no final de cada ensaio, amostras do sobrenadante (líquido clarificado) foram coletadas e analisadas em laboratório. A eficiência de remoção dos parâmetros foi determinada de acordo com a equação 1:

$$\eta(\%) = \left[\frac{S_{(i)} - S_{(f)}}{S_{(i)}} \right] * 100 \quad \text{equação (1)}$$

Onde $S_{(i)}$ significa o parâmetro bruto, e $S_{(f)}$ após o tratamento.

A Tabela 1 ilustra a metodologia nos ensaios realizados. Todos os ensaios foram realizados em temperatura e condições determinadas pelos respectivos fabricantes e a metodologia.

Tabela 1: Metodologia e equipamentos utilizados nos ensaios

PARÂMETROS	MÉTODO
pH	Potenciométrico
Condutividade Elétrica	Conduvímétrico
Turbidez	Nefelométrico
DQO	Espectrofotométrico
DBO	Potenciométrico
Fósforo	Molibdanovanadato
Nitrogênio Total	Kjeldahl
Cor Aparente	Colorimétrico

Para a realização dos experimentos de coagulação-floculação em bancada, o teste de jarros (*Jar Test*) teve como objetivo a determinação da melhor dosagem de coagulante, alcançando desse modo a otimização dos parâmetros de tratabilidade para o lixiviado em estudo.

Os parâmetros operacionais a serem adotados na etapa de coagulação são determinados pela mistura rápida do coagulante no lixiviado, caracterizada ainda pelo tempo de mistura rápida ou de coagulação (T_c) e gradiente de velocidade da mistura rápida (GMR). As condições de floculação, por sua vez, são determinadas pelo tempo de floculação (T_f), ou mistura lenta e o gradiente da floculação (GML). Os ensaios foram realizados em equipamento de reatores estáticos, composto de 6 béqueres, com a forma tronco-cilíndrica de seção transversal redonda, com capacidade para 2 L em cada reator.

O coagulante utilizado foi o hidróxido de cálcio. De acordo com a literatura pesquisada, as dosagens típicas de coagulantes para o tratamento do lixiviado variam de 1.000 a 15.000 mg Ca(OH)_2 , e diante dessa grande faixa de dosagens, que depende das características do lixiviado a ser tratado, optou-se por uma faixa de concentração de 2.300 a 5.750 mg Ca(OH)_2 para o hidróxido de cálcio (Tabela 2).

Tabela 2: Concentrações e volume de solução hidróxido de cálcio aplicado nos ensaios de coagulação-floculação do lixiviado.

ENSAIO	HIDRÓXIDO DE CÁLCIO	VOLUME (ML)
1	2.300 mg Ca(OH)_2	20
2	3.450 mg Ca(OH)_2	30
3	4.600 mg Ca(OH)_2	40
4	5.750 mg Ca(OH)_2	50

De forma a aperfeiçoar o preparo das soluções, e levando em consideração os intervalos de concentrações a serem utilizadas do reagente no teste de bancada, a solução foi preparada separadamente, em concentração única, de forma que diferentes volumes retirados da solução correspondam à diferentes concentrações a serem utilizadas nos testes.

Para a cal hidratada, a solução foi previamente preparada dissolvendo 125 g do alcalinizante em 1000 ml de água deionizada ($C = 125\text{mg/ml}$ ou 12,5%). A metodologia utilizada nos ensaios de coagulação-floculação para a otimização das dosagens foi adaptada da metodologia descrita por Mello et al. (2012) aplicada ao tratamento de lixiviados do aterro de Muribeca, localizado na cidade de Jaboatão dos Guararapes – PE.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO EM ESTUDO

A amostra bruta utilizada foi coletada em uma das lagoas de acúmulo do Lixão de Cuiabá, tendo sido observado que, as características do lixiviado apresentaram-se de cor escura, tendendo ao marrom, pela provável presença de substâncias húmicas, e com elevada concentração de material orgânico recalcitrante (Figura 1).



Figura 1: Lixiviado bruto coletado de uma das lagoas de acúmulo do Lixão de Cuiabá.

Os resultados da caracterização dos parâmetros físico-químicos das amostras do lixiviado estão apresentados de forma resumida na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização físico-química do lixiviado.

PARÂMETROS	UNIDADE	RESULTADOS
pH	-	7,5
Turbidez	UNT	38,7
Cor real	mg Pt-Co L ⁻¹	2200
Fósforo total	mg PO ₄ ⁻³ L ⁻¹	12,7
Nitrogênio Total	mg N-NTK L ⁻¹	2.355,3
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH ₃ L ⁻¹	1.699,3
Condutividade Elétrica	μS cm ⁻¹	9.166,7
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	2374
DBO _{5,20}	mg O ₂ L ⁻¹	455,3

Quanto à biodegradabilidade do lixiviado, esta varia com o tempo e pode ser monitorada acompanhando a relação DBO_{5,20}/DQO, que neste caso, foi de 0,20. De acordo com Tchobanoglous et al. (2003), inicialmente, durante a decomposição dos resíduos aterrados, as taxas estarão na faixa acima de 0,5. Taxas de variação no intervalo de 0,4 – 0,6 indicam de que a matéria orgânica no lixiviado é prontamente biodegradável. Em aterros velhos a relação DBO₅/DQO geralmente se situará na faixa de 0,05 – 0,2. A relação é menor porque o lixiviado proveniente de aterros antigos contém tipicamente ácidos húmicos e fúlvicos que não são prontamente biodegradáveis. A recalcitrância do material orgânico também pode ser verificada pelos valores elevados da razão DQO/DBO_{5,20}, a qual indica o nível de biodegradabilidade de um determinado efluente. Quanto maior esta razão, menos biodegradável o efluente.

DETERMINAÇÃO DA MELHOR CONCENTRAÇÃO DO HIDRÓXIDO DE CÁLCIO

Vários autores (Thornton e Blanc, 1973; Ho et al., 1974; Keenan et al., 1983; Slater et al., 1983; Millot, 1986) afirmam que o hidróxido de cálcio é o reagente mais utilizado na precipitação química, requerendo, geralmente, entre 1 a 15 g Ca(OH)₂ de hidróxido de cálcio no tratamento de lixiviado de aterros.

Diante da grande variação de dosagens empregadas, foram realizados ensaios preliminares, variando dosagens de cal de 2.300 a 5.750 mg Ca(OH)₂, utilizando inicialmente os parâmetros operacionais (gradiente de velocidade e tempo da mistura rápida e lenta) que os autores encontraram, conforme Tabela 4:

Tabela 4: Gradientes de velocidade e tempo em função dos parâmetros de mistura rápida e lenta.

PARÂMETROS	MISTURA RÁPIDA	MISTURA LENTA
Gradiente de velocidade	95 rpm	40 rpm
Tempo	30 segundos	4 minutos

A Tabela 5 mostra o percentual de remoção de turbidez, cor real e DQO do lixiviado extraído do Lixão, em função da variação da dosagem do coagulante, onde as amostras I, II, III, e IV correspondem respectivamente às concentrações 2.300 mg Ca(OH)₂, 3.450 mg Ca(OH)₂, 4.600 mg Ca(OH)₂ e 5.750 mg Ca(OH)₂ do hidróxido de cálcio em 1 L de lixiviado para cada, realizadas com o gradiente de velocidade 95 rpm na mistura rápida e 40 rpm na mistura lenta conforme metodologia citada anteriormente.

De acordo com os resultados expostos na Tabela 5 abaixo, à medida que a dosagem aumentava, a porcentagem de eficiência em remoção dos parâmetros cor real, turbidez e DQO foi aumentando. Segundo (Renou et al., 2008) o tratamento utilizando o hidróxido de cálcio no lixiviado dos aterros sanitários vem obtendo melhores resultados que nos tratamentos biológicos ou por osmose reversa. Ainda podem ser utilizados como um polimento final ao pré-tratamento para remoção da matéria orgânica não biodegradável. Quanto ao parâmetro cor real, a melhor redução ocorreu com a concentração de 5.750 mg Ca(OH)₂, representando uma eficiência de remoção na ordem de 89,8%. Quanto à DQO, houve o mesmo funcionamento, quanto maior a dosagem, melhor o resultado final. O lixiviado bruto tinha uma concentração de 2374 mg O₂ L⁻¹ chegando a alcançar concentrações de DQO depois do tratamento na ordem de 1.755,3 mg O₂ L⁻¹. Em relação à turbidez, sua otimização foi de 84,0% na concentração de 5.750 mg Ca(OH)₂, sendo essa concentração aquela que obteve o melhor resultado de remoção dos parâmetros em estudo. Para Mello (2012), a melhor otimização no tratamento de lixiviado utilizando o hidróxido de cálcio ocorreu na turbidez quando comparado com os resultados da remoção da cor e DQO.

Tabela 5: Percentual de remoção após o tratamento com o hidróxido de cálcio.

AMOSTRA	PARÂMETRO	PERCENTUAL DE REMOÇÃO
I	Cor Real	77,4%
II		87,3%
III		87,9%
IV		89,8%
I	Turbidez	77,5%
II		78,7%
III		82,1%
IV		84,0%
I	DQO	12,4%
II		16,2%
III		20,6%
IV		26,1%

Portanto, a concentração que obteve maior remoção dos parâmetros estudados anteriormente foi a de 5.750 mg Ca(OH)₂. Sendo assim, para o hidróxido de cálcio, observou-se que quanto maior a dosagem do coagulante melhor será a otimização dos resultados, tal resultado interfere diretamente no custo do tratamento seja ele primário ou secundário, já que a eficiência do tratamento está diretamente relacionada com a dosagem do coagulante.

No entanto, também verificou-se que, entre os parâmetros analisados, a concentração de hidróxido de cálcio não demonstrou diferença altamente significativa de remoção dos parâmetros físicos cor real e turbidez e do químico DQO, com o aumento da concentração do coagulante, o que pode ser observado na Figura 2.

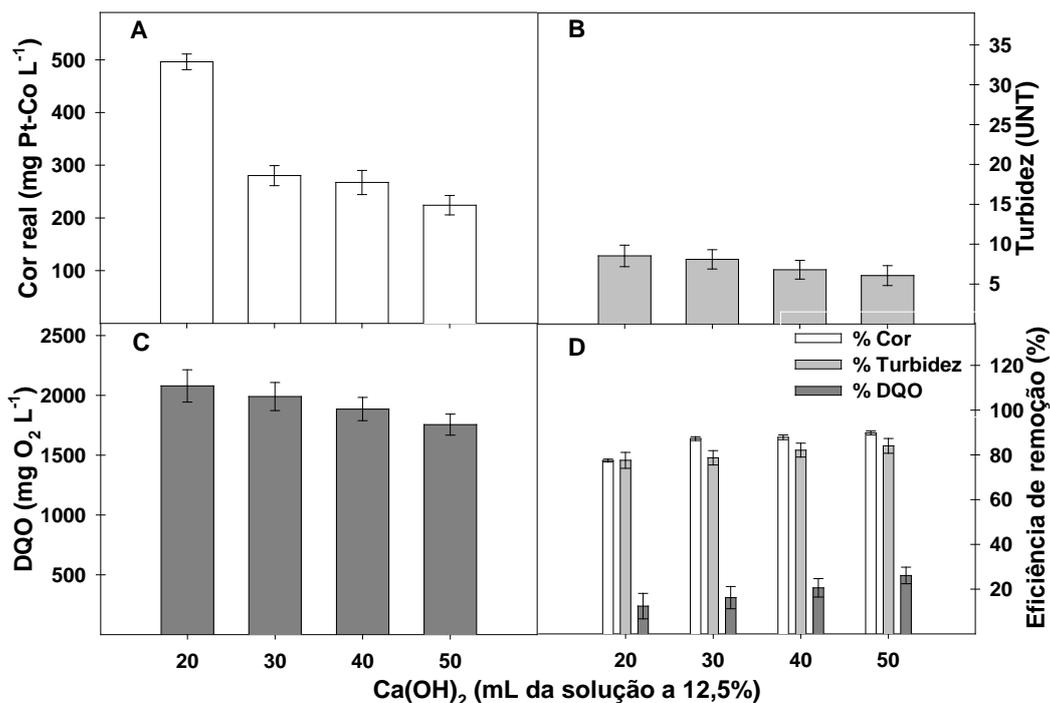


Figura 2: Resultados obtidos através do coagulante hidróxido de cálcio para tratamento de lixiviado: A, Cor real (mg Pt-Co L⁻¹); B, Turbidez (UNT); C, DQO (mg O₂ L⁻¹); D, Eficiência de Remoção (%).

A concentração de 3.450 mg Ca(OH)₂ L⁻¹ acarretou apenas 2,5% de diferença de remoção de cor real, em comparação com a concentração de maior porcentagem de remoção, correspondente à de 5.750 mg Ca(OH)₂ L⁻¹. Na análise da remoção de turbidez em função das concentrações do coagulante, a concentração de 3.450 mg Ca(OH)₂ L⁻¹ obteve apenas 5,3% de diferença da concentração de maior remoção de turbidez, correspondente à de 28,4 mg Ca(OH)₂ L⁻¹. Para a remoção de DQO em função da concentração do coagulante, a concentração de 3.450 mg Ca(OH)₂ L⁻¹ apresentou diferença de 9,9% da concentração de maior remoção de DQO que correspondente à de 5.750 mg Ca(OH)₂ L⁻¹.

A utilização do hidróxido de cálcio é considerada menos onerosa quando comparada com a aplicação de outros produtos químicos, tais como cloreto férrico, sulfato de alumínio, sulfato de magnésio, entre outros coagulantes. Contudo, como todo método aplicado ao tratamento de lixiviado, a precipitação apresenta algumas desvantagens, tais como o aumento da dureza do efluente e do pH, além da geração de lodo e consequente aumento no custo de disposição do lodo (ROCHA, 2013).

Constatou-se, portanto, que a concentração 3.450 mg Ca(OH)₂ L⁻¹ pode ser considerada a concentração de maior viabilidade para a remoção das características analisadas físicas, cor real e turbidez e química DQO, uma vez considerados também outros tópicos tais como custo e economia de material.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A proposta do tratamento primário foi a de reduzir ao máximo possível parte da matéria orgânica particulada e não particulada representada pelos parâmetros cor real, turbidez e DQO do lixiviado. Com o hidróxido de cálcio observou-se a remoção do material dissolvido, porém a eficiência de remoção é variável, em função da variação das características do lixiviado ao longo do tempo. Essa eficiência de remoção depende das características físicas e químicas do lixiviado e das condições operacionais.

As principais vantagens da aplicação de hidróxido de cálcio no tratamento são inúmeras, como por exemplo a disponibilidade do reagente em muitos países, não contribui para o aumento a salinidade, baixo custo e simplicidade do método. Todavia como método empregado para o tratamento do lixiviado, a precipitação também apresenta algumas desvantagens, tais como; aumento do pH e dureza, geração de lodo e consequentemente aumento do custo de disposição do lodo.

Por essas constatações, conclui-se que o Tratamento Físico-Químico por Coagulação-Floculação do lixiviado oriundos do Lixão de Cuiabá obteve excelentes resultados utilizando o hidróxido de cálcio como reagente, ao utilizar a concentração $3.450 \text{ mg Ca(OH)}_2 \text{ L}^{-1}$, podendo servir de arcabouço teórico para o efetivo tratamento dos lixiviados lá produzidos.

Como recomendações sobre o estudo, podem ser citados: Um estudo da possibilidade de uso de polímeros que visem em uma melhor otimização do processo de coagulação/floculação no tratamento do lixiviado; Realizar um estudo acerca dos custos operacionais, de modo a revelar a viabilidade econômica ou não do processo; Realização de ensaios de coagulação-floculação variando o pH para obtenção de melhores remoções; Realizar quantificação de lodo residual para se ter conhecimento de seu volume produzido visando uma futura disposição; Realizar caracterização de metais pesados visando analisar o nível de toxicidade do lixiviado antes e depois do tratamento; Realizar pós-tratamentos físico-químicos, como, por exemplo, o tratamento utilizando o carvão ativado, tem em vista a diminuição dos parâmetros como cor, turbidez e DQO, objetivando melhorar a qualidade do lixiviado para o despejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BILA, D.; MONTALVÃO, A.F.; DEZOTTI, M., 2002. Aplicação de um processo oxidativo no aumento da biodegradabilidade do chorume do aterro de Gramacho/RJ. In: COBEQ- Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Natal, RN, Brasil.
2. FELICI, E. M; Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
3. FERREIRA, J. A.; GIORDANO, G.; RITTER, E.; ROSSO, T. C. de A.; CAMPOS, J. C.; LIMA, P. Z. M.; Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade do estado do Rio de Janeiro. In: Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa, 2001
4. FRAL CONSULTORIA. Estudo de Impacto Ambiental – EIA do novo aterro de Cuiabá-MT. 2016.
5. MELLO, V. F. B. Otimização do tratamento de lixiviados e corantes por processos físico-químicos. Dissertação de Mestrado, UFPE – CTG, 2011.
6. RENO, S.; POULAIN, S.; GIVAUDAN, J.G.; MOULIN, P. Treatment process adapted to stabilized leachates: Lime precipitation – prefiltration – reverse osmosis. *Journal of Membrane Science*, v. 313, p. 9-22. 2008.
7. ROCHA, E. E. M.; Precipitação química associada aos processos de tratamento de lixiviado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
8. SILVA, M. P. Avaliação da tratabilidade do lixiviado de aterro industrial por processo de biorreator à membrana (MBR). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
9. UYGUR, A.; KARGV, F.; Biological nutrient removal from pre-treated landfill leachate in a sequencing batch reactor. *Journal of Environmental Management*. v. 71, p. 9-14, 2004.
10. VOLTAN, P, E, N. Avaliação da Ruptura e do recrescimento de flocos na eficiência de sedimentação em água com turbidez elevada. Dissertação de Mestrado 2007. São Carlos, SP, Brasil.
11. THORNTON, R. J.; BLANC, F. C. Leachate treatment by coagulation and precipitation. *Journal of Environmental Engineering Division*, v. 99, n. 4, p. 535-544, 1973.
12. HO, S.; BOYLE, C. W.; HAM, R. K. Chemical treatment of leachates from sanitary landfills. *Water Pollution Control Federation*, v. 46, n. 7, p. 1776-1791, 1974.
13. KEENAN, J. D.; STEINER, R. L.; FUNGAROLI, A. A. Chemical-physical leachate treatment. *Journal of Environmental Engineering*, v. 109, n. 6, p. 1371-1384, 1983.
14. SLATER, C. S.; AHLERT, R. C.; UCHRIN C. G. Treatment of landfill leachates by reverse osmosis. *Environmental Progress*, v. 2, n. 4, p. 251–256, 1983.
15. MILLOT, N. Les Lixiviats de décharges contrôlées: caractérisation analytique - dtude es filières de traitement. 1986. 188f. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Ciências Aplicadas de Lyon, Lyon, 1986.