

II-544 - COAGULAÇÃO QUÍMICA DE LIXIVIADO ESTABILIZADO DE ATERRO SANITÁRIO

Jandiara Damaris Campos Pozzetti

Engenheira Ambiental pelas Faculdades Adamantinenses Integradas – FAI e Mestranda na Universidade Estadual de Londrina – UEL.

Marcos Batista Mendes

Graduando em Química-Bacharelado na Universidade Estadual de Londrina - UEL.

Eduardo Hideo Fujii

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL e Mestrando na Universidade Estadual de Londrina – UEL

Amanda Sati Hirooka Koshigoe

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL

Yorgos Noleto Coutrotsos

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL

Emília Kiyomi Kuroda⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo – EESC-USP. Mestre e doutora em Hidráulica e Saneamento pela mesma instituição. Pós-doutora pela Meijo University, Japão. Professora do Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da UEL.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Estadual de Londrina – UEL. Centro de Tecnologia e Urbanismo – CTU. Departamento de Construção Civil – DCCi. Rod. Celso Garcia Cid PR 445 Km 380 Campus Universitário. Cx Postal 10011 CEP 86057-970. Fone: +55 (43) 3371 4455 e +55 (43) 3371 5826 (lab), Email: ekkuroda@uel.br

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo determinar as condições de máxima eficiência da coagulação química, em relação à remoção de cor verdadeira aplicada no pós-tratamento de lixiviado estabilizado de aterro sanitário. Os ensaios de bancada foram realizados utilizando reatores estáticos - jarteste. A construção do diagrama de coagulação química foi realizada analisando-se a cor verdadeira residual das amostras obtidas mediante variação das dosagens de cloreto férrico expresso em $\text{mg Fe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ e valores de pH. A condição de maior eficiência na coagulação química foi selecionada considerando a relação custo-eficiência: dosagem de 400 $\text{mg Fe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ e 280 mg L^{-1} de HCl para ajuste em pH 4, o que resultou na produção de lixiviado, decantado após 1 h de sedimentação, com cor verdadeira residual de 38 uH (remoção de 99%) e DQO de 379 $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (remoção de 67%).

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de lixiviado, cor verdadeira, escala de bancada, jarteste.

INTRODUÇÃO

O lixiviado, líquido escuro gerado principalmente no processo de biodegradação de resíduos sólidos e da infiltração de águas pluviais, apresenta em geral, considerável carga poluidora e tóxica com altas concentrações de N-amoniacoal, matéria orgânica e compostos orgânicos recalcitrantes como as substâncias húmicas e tóxicas, o que requer adoção de tratamentos específicos (KJELDSEN *et al.* 2002, WISZNIOWSKI, *et al.* 2006 e ZANTA *et al.*, 2006).

De acordo com Pacheco e Peralta (2004), as formas mais utilizadas de tratamento de lixiviado são baseadas em processos biológicos e físico-químicos. O tratamento biológico pode ser realizado através de processos aeróbios, anaeróbios e facultativos, mas possuem remoção limitada de compostos recalcitrantes e coloridos. Já os tratamentos físicos e químicos, tais como coagulação-floculação-sedimentação, apresentam maior eficiência na remoção desses compostos.

Devido à fácil visualização e simplicidade, o parâmetro cor verdadeira é comumente utilizado em correlação às substâncias húmicas presentes no lixiviado (APHA, AWWA, WEF, 2005). As partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral, causam cor e turbidez e possuem carga negativa, impedindo a

aproximação uma das outras. Para que isso ocorra, é necessário alterar a força iônica do meio. Essa alteração pode ser realizada por adição de sais de ferro, alumínio e de polímeros, o que caracteriza a coagulação química. A coagulação é resultante de dois fenômenos – químico e físico. O fenômeno químico baseia-se nas reações do coagulante com o meio e com a formação de espécies hidrolisadas com carga positiva. Já o fenômeno físico consiste no transporte dessas espécies para que haja contato com as impurezas (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), as condições mais adequadas de coagulação química para uma determinada matriz podem ser obtidas previamente, pela execução de ensaios de bancada em reatores estáticos - jarreste simulando as etapas de coagulação-floculação-sedimentação e elaboração dos diagramas de coagulação, para aumento na eficiência do tratamento além de considerável economia de produtos químicos quando aplicados em escala real.

OBJETIVO

Determinar as condições de máxima eficiência da coagulação química seguida de floculação e sedimentação – em escala de bancada: reatores estáticos - jarreste, considerando a remoção de cor verdadeira, como pós-tratamento de lixiviado estabilizado de aterro sanitário, tratado previamente por *stripping* de amônia, seguido de tratamento biológico por lodos ativados em bateladas sequenciais.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO LIXIVIADO

De forma geral, a caracterização física e química do lixiviado bruto, do lixiviado tratado biologicamente e do lixiviado obtido para a condição selecionada de máxima eficiência de coagulação química - floculação e sedimentação, foi realizada segundo parâmetros e métodos analíticos, descritos em APHA, AWWA, WEF (2005), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros e métodos utilizados

PARÂMETRO	Ref. APHA, AWWA, WEF (2005)	MÉTODO	EQUIPAMENTO (MODELO/MARCA)
pH	Potenciométrico 4500	Método potenciométrico	pHmetro: HANNA HI 9321 Agitador: FISATOM 761
Temperatura (°C)	-	Termômetro de Hg	-
Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	2320 B	Método titulométrico	pHmetro: HANNA HI 9321 Agitador: FISATOM 761 Titulador: METROHM 20 mL
Cor aparente (uH)	2120 C	Método espectrofotométrico	BEL 1105
Cor verdadeira (uH)	2120 C	Método espectrofotométrico – filtrado em membrana 0,45 µm	Espectrofotômetro BEL 1105
Série de sólidos (mg L ⁻¹)	2540 B, C, D E	Sólidos totais secos a 103-105°C, Sólidos totais dissolvidos secos a 180°C, Sólidos totais suspensos secos a 103-105°C.	Membranas 1,2 Mufla 550° C: FORNITEC 1940 Estufa 103° C: LUFERCO
DQO (mg L ⁻¹)	5220 C e adição de padrão	Método do refluxo fechado	Bloco digestor COD Reactor HACH Espectrofotômetro HACH DR/2010
Cloreto (mg L ⁻¹)	4500 – Cl ⁻ B	Método de Mohr	Agitador: FISATOM 761 Bureta de 25 mL
NKT (mg L ⁻¹)	4500 – Norg B e C	Micro-Kjeldhal	pHmetro: HANNA HI 9321 Agitador: FISATOM 761 Titulador: METROHM 20 mL Destilador: BUCHI K-355 Bloco Digestor BUCHI K-435 Lavador de gases BUCHI B-414
N-amoniacoal (mg L ⁻¹)	4500 – NH ₃ B e C	Destilação e titulação	pHmetro: HANNA HI 9321 Agitador: FISATOM 761 Titulador: METROHM 20 mL Destilador BUCHI K-355
Nitrito (mg L ⁻¹)	4500 – NO ₂ B	Método colorimétrico	Espectrofotômetro Spectronic 20 GENESYS
Nitrato (mg L ⁻¹)	-	Cataldo (1975)	Espectrofotômetro Spectronic 20 GENESYS

LIXIVIADOS BRUTO E TRATADO BIOLOGICAMENTE

O lixiviado bruto foi coletado no aterro controlado de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Londrina – PR, localizado às margens da estrada “Água do Limoeiro”, no lote 23-C da Gleba Cambé em funcionamento no período de 1974-2010 com características de lixiviado estabilizado.

O lixiviado bruto foi submetido ao tratamento preliminar por *stripping* de amônia seguido de tratamento biológico por lodos ativados (fase aeróbia seguida de fase anóxica com adição de etanol como fonte de carbono) em bateladas sequenciais e escala piloto com capacidade volumétrica de 1,0 m³.

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO QUÍMICA – FLOCULAÇÃO – SEDIMENTAÇÃO EM ESCALA DE BANCADA

Os ensaios de bancada foram realizados utilizando reatores estáticos - jarteste (Nova ética – 218/6LDBE). Este é composto de 6 jarros de acrílico transparente de 2 L, tacômetro digital para visualização da rotação (até 600 rpm \pm 2 %), o que confere gradiente de velocidade de até 1.200 s⁻¹, dispositivo para aplicação simultânea de produtos químicos e coleta de amostras nos 6 jarros.

Para realização dos ensaios foram utilizados os seguintes produtos químicos:

- Hidróxido de sódio (sólido) com massa específica = 1,013 kg L⁻¹ como alcalinizante;
- Solução comercial de ácido clorídrico com 37% em massa e massa específica = 1,187 kg L⁻¹ como acidificante;
- Solução comercial de cloreto férrico líquido com 42,35% de FeCl₃.6H₂O, massa específica = 1,42 kg L⁻¹ e cor amarela.

Para os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação em reatores estáticos - jarteste foram fixados os valores dos parâmetros de controle operacional apresentados na Tabela 2, em função das condições operacionais do sistema em escala piloto já existente e objeto de estudo de trabalho paralelo.

Tabela 2 - Parâmetros de controle operacional nos ensaios em Jarteste.

Tempo médio de mistura rápida (Tmr)	1 min
Gradiente de velocidade médio de mistura rápida (Gmr)	600 s ⁻¹
Tempo médio de floculação (Tfloc)	20 min
Gradiente de velocidade médio de floculação (Gfloc)	20 s ⁻¹
Velocidade de sedimentação (Vs)	0,25 e 0,125 cm.min ⁻¹
Tempo de sedimentação (Ts)	1 e 2 h

A construção do diagrama de coagulação química foi realizada analisando-se a cor verdadeira residual das amostras filtradas previamente em membrana de éster de celulose com porosidade média de 0,45 µm, obtidas mediante variação das dosagens de cloreto férrico expressas em mg Fe³⁺ L⁻¹ e valores de pH. As coletas das amostras de lixiviado decantado foram realizadas nos tempos de sedimentação de 1 e 2h. Após seleção da condição de máxima eficiência de coagulação química seguida de floculação e sedimentação foi realizada a caracterização física e química dos lixiviados tratados conforme a Tabela 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS LIXIVIADOS BRUTO E TRATADO BIOLÓGICAMENTE

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da caracterização física e química do lixiviado bruto e do lixiviado após tratamento biológico por lodos ativados.

Tabela 3 - Caracterização física e química do lixiviado bruto e lixiviado submetido ao tratamento preliminar por *stripping* de amônia seguido de tratamento biológico por lodos ativados.

PARÂMETRO	UNIDADE	BRUTO	TRATAMENTO BIOLÓGICO	% REMOÇÃO APÓS TRATAMENTO BIOLÓGICO
pH	-	8,9	8,5	-
Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	1914	1608	16
Temperatura	°C	23,7	23,6	-
Cor aparente	uH	4031	3504	13
Cor verdadeira	uH	3598	3393	6
NKT	mg N-NH ₃ L ⁻¹	304	67	78
N-amoniacoal	mg N-NH ₃ L ⁻¹	236	5	98
Nitrito	mg N-NO ₂ L ⁻¹	105	3	97
Nitrato	mg N-NO ₃ L ⁻¹	21	3	84
Cloreto	mg L ⁻¹	1828	1935	-
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	1344	1144	15
ST	mg L ⁻¹	5554	6456	-
SST	mg L ⁻¹	232	73	-
SDT	mg L ⁻¹	5322	6383	-

As características do lixiviado bruto remetem a um lixiviado já estabilizado, pois este lixiviado apresentou valores elevados de pH (da ordem de 8,9) e sem remoção considerável de cor verdadeira e DQO com 6 e 15% e valores residuais de 3598 uH e 1344 mg O₂ L⁻¹, respectivamente. Estes resultados corroboram dados da literatura, em relação à baixa eficiência do tratamento biológico para remoção de compostos recalcitrantes e coloridos (PACHECO E PERALTA (2004), FELICI (2010), CASTRO (2012) E KAWAHIGASHI (2012)).

Pode-se observar que o tratamento preliminar por *stripping* de amônia seguido de tratamento biológico por lodos ativados apresentou elevada eficiência na remoção da série nitrogenada, com 78% para NKT, 98% para N-amoniacoal, 97% para Nitrito e 84% para Nitrato.

O lixiviado após tratamento biológico apresentou valores de cor verdadeira e DQO de 3393 uH e 1144 mg O₂ L⁻¹, respectivamente, bem superiores aos limites definidos nas legislações pertinentes. As condições de enquadramento para águas doces classe 2 e 3 da Resolução 357/2005 do Conama estabelece 75 uH para cor verdadeira e o Padrão de lançamento da Resolução Nº 0070/2009 – CEMA limita a DQO em 200 mg O₂ L⁻¹ para efluentes provenientes de outras atividades quando não enquadradas às especificadas na referida resolução. Assim, pode-se concluir que mesmo considerando o fator de diluição do efluente num corpo hídrico de água doce classe 2 e 3, o lançamento deste lixiviado poderá prejudicar a qualidade do mesmo, o que comprova a necessidade de tratamento complementar como o físico químico proposto neste trabalho composto por coagulação química - floculação - sedimentação.

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO QUÍMICA – FLOCULAÇÃO – SEDIMENTAÇÃO

A figura 1 ilustra os valores de cor verdadeira residual do sobrenadante após 1h de sedimentação, variando-se a dosagem de cloreto férrico expresso em mg Fe³⁺ L⁻¹ e valores de pH.

De maneira geral, as porcentagens de remoção de cor verdadeira variaram de 11 - 99%. No entanto, pode-se observar que a coagulação química foi favorecida para valores de pH entre 4,0 e 4,5 (faixa ótima de pH), independentemente da dosagem de coagulante. No entanto, dosagens acima de 300 e 400 mg Fe³⁺ L⁻¹ garantiram eficiências superiores a 98 e 99 % para remoção de cor verdadeira, respectivamente.

Os resultados obtidos com os tempos de sedimentação de 1 e 2h não apresentaram diferenças consideráveis em termos de valores residuais de cor verdadeira, tendo sido observada variações máximas de 0,1% para as dosagens na faixa ótima de pH (entre 4,0 e 4,5) e de no máximo 5% para os demais valores de pH. Assim, a caracterização física e química após tratamento por coagulação – floculação – sedimentação foi realizada utilizando-se a amostra de lixiviado decantado após 1 h de sedimentação.

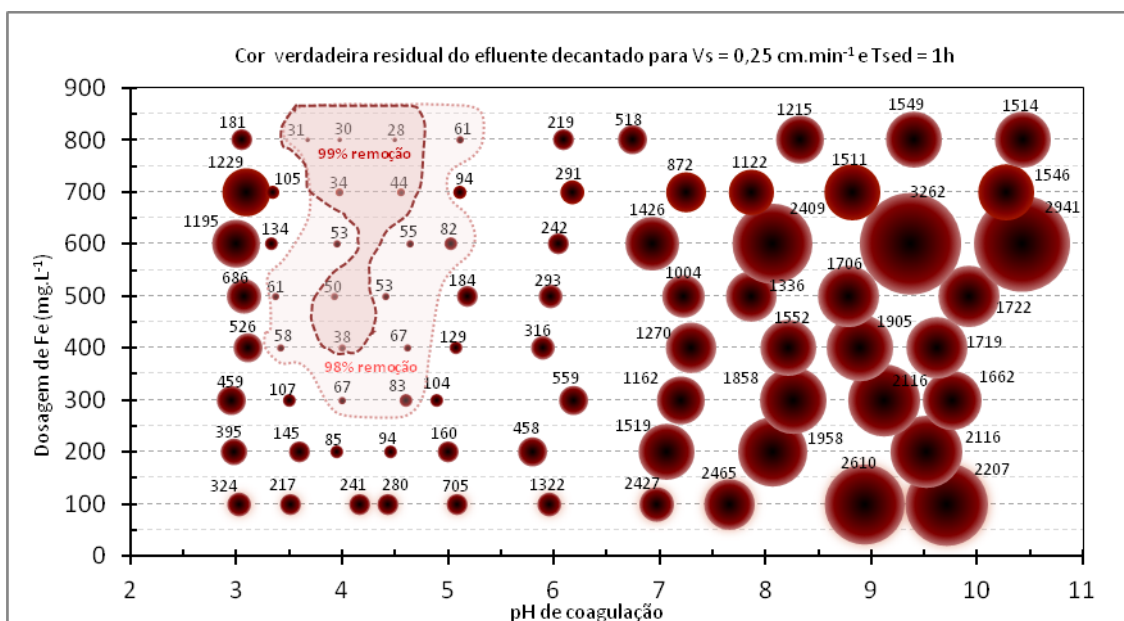


Figura 1 - Cor verdadeira residual em relação à variação da dosagem de Fe^{3+} e pH de coagulação.

Visando a aplicação deste tratamento em escala piloto e real, a condição de maior eficiência na coagulação química foi selecionada considerando a relação custo-eficiência, uma vez que o dobro da dosagem de coagulante selecionada ($400 \text{ mg Fe}^{3+} \text{ L}^{-1}$) contribuiu com aumento de eficiência de apenas 0,2% para cor verdadeira. Assim, selecionou-se a condição de maior eficiência para coagulação química: dosagem de $400 \text{ mg Fe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ e 280 mg L^{-1} de HCl para ajuste em pH 4, o que resultou em cor verdadeira residual de 38 uH (remoção de 99%) após 1 h de sedimentação e de 36 uH (remoção de 99%) após 2 h de sedimentação. Estes resultados comprovam a elevada eficiência do tratamento por coagulação – floculação – sedimentação em relação à remoção de cor verdadeira, capaz de produzir efluentes com qualidade compatível às condições de enquadramento para águas doces classe 2 e 3 da Resolução 357/2005 do Conama, o qual estabelece 75 uH para cor verdadeira.

Vários autores constataram remoções de cor verdadeira de mesma ordem de grandeza após tratamento por coagulação-floculação-sedimentação em lixiviados estabilizados. Aziz (2007) utilizando uma dosagem de $800 \text{ mg Fe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ em pH 4 obteve 94% de eficiência de remoção após 1h de sedimentação para lixiviado com cor verdadeira inicial entre 2430 e 8180 uH. Felici (2010) atingiu 98,1% de remoção após aplicação da dosagem de $400 \text{ mg Fe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ em pH 3 e 6h de sedimentação com valor residual de 96uH. Castrillón (2010) alcançou 97% de remoção aplicando $1,7 \text{ g FeCl}_3 \text{ L}^{-1}$ em pH 5,2 para lixiviado antigo com cor verdadeira inicial de 5537 uH e 78% de remoção aplicando $1,2 \text{ g FeCl}_3 \text{ L}^{-1}$ em pH 3,8 para o lixiviado novo com cor verdadeira inicial de 2900 uH.

A tabela 4 apresenta os resultados da caracterização física e química do lixiviado tratado biologicamente por lodos ativados e do obtido para a condição de coagulação química selecionada.

Tabela 4 - Caracterização física e química dos lixiviados tratado biologicamente por lodos ativados e do obtido para a condição de coagulação química selecionada

PARÂMETRO	UNIDADE	TRATAMENTO BIOLÓGICO	COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO-SEDIMENTAÇÃO	% REMOÇÃO APÓS COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO-SEDIMENTAÇÃO
pH	-	8,5	4,1	-
Alcalinidade	mg CaCO ₃ L ⁻¹	1608	0	100
Temperatura	°C	23,6	23,5	-
Cor aparente	uH	3504	75	98
Cor verdadeira	uH	3393	38	99
NKT	mg N-NH ₃ L ⁻¹	67	15	78
N-amoniacoal	mg N-NH ₃ L ⁻¹	5	2	60
Nitrito	mg N-NO ₂ L ⁻¹	3	0	100
Nitrato	mg N-NO ₃ L ⁻¹	3	0	100
Cloreto	mg L ⁻¹	1935	3161	-
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	1144	379	67
ST	mg L ⁻¹	6456	6330	-
SST	mg L ⁻¹	73	22	-
SDT	mg L ⁻¹	6383	6308	-

De acordo com a Tabela 4, para a condição de maior eficiência de coagulação química: dosagem de 400 mg Fe³⁺ L⁻¹ e 280 mg L⁻¹ de HCl para ajuste em pH 4, o valor residual de DQO no lixiviado decantado após 1 h de sedimentação foi de 379 mg O₂ L⁻¹, o que correspondeu a 67% de eficiência de remoção de DQO. Assim, pode-se observar que o tratamento por coagulação – floculação – sedimentação não foi suficiente para a produção de efluente com qualidade compatível ao Padrão de lançamento da Resolução N° 0070/2009 – CEMA que limita a DQO em 200 mg O₂ L⁻¹ para efluentes provenientes de outras atividades quando não enquadradas às especificadas na referida resolução.

Assim, de acordo com os resultados obtidos por Felici (2010), Castro (2012), Kawahigashi (2012) e legislações pertinentes, os resultados obtidos neste trabalho também mostraram que o tratamento por coagulação – floculação – sedimentação foi capaz de produzir efluente de lixiviado com qualidade compatível em relação à cor verdadeira, mas não em relação à DQO, o que indica a necessidade de tratamento complementar por processos específicos para esse efluente.

CONCLUSÕES

A coagulação química foi favorecida para valores de pH entre 4,0 e 4,5 (faixa ótima de pH) e dosagens a partir de 300 e 400 mg Fe³⁺ L⁻¹ garantiram eficiências superiores a 98 e 99 % para remoção de cor verdadeira, respectivamente.

A condição de maior eficiência para coagulação química foi de dosagem de 400 mg Fe³⁺ L⁻¹ e 280 mg L⁻¹ de HCl para ajuste em pH 4, o que resultou na produção de lixiviado decantado após 1 h de sedimentação com cor verdadeira residual de 38 uH (remoção de 99%) e DQO de 379 mg O₂ L⁻¹ (remoção de 67%).

O tratamento por coagulação – floculação – sedimentação foi capaz de produzir efluente de lixiviado com qualidade compatível em relação à cor verdadeira, mas não em relação à DQO, o que indica a necessidade de tratamento complementar por processos específicos para esse efluente.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). 21ª Edição, 2005.
2. AZIZ, H.A.; ALIAS, S.; NORDIN ADLAN, M.N.; FARIDAH, N.A.; ASAARI, A.H.; ZAHARI, M.S. Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. *Bioenvironmental Technology*, v. 98, p.218-220, 2007.
3. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução no 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos 146 de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.
4. CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ULMANU, M.; ANGER, I.; MARAÑÓN, E. Physico-chemical and biological treatment of MSW landfill leachate. *Waste Management*, v.30, p.228-235, 2010.
5. CASTRO, A.P. Influência da adição de polieletrólito no processo de floculação como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário visando à remoção de carga orgânica recalcitrante. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2012.
6. CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid Colorimetric Determination of Nitrate in Plant Tissue by Nitration of Salicylic Acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.6, p.71-80, 1975.
7. DI BERNARDO, L. & DANTAS, A. B. Métodos e técnicas de tratamento de água – 2ª edição. Volume 1. São Carlos: RiMa, 2005.
8. 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 apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.
9. KJELDSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Environmental Science and Technology*. V. 32, (4), p. 297- 336, 2002.
10. MARAÑÓN, E.; CASTRILLÓN, L.; NAVA, Y.F.; MÉNDEZ, A.F.; SÁNCHEZ, A.F. Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-desnitrification plant. *Journal of Hazardous Materials*, v. 156, p, 538-544, 2008.
11. PACHECO, J. R.; PERALTA-ZAMORA, P.G. Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume). *Rev Bras Eng Sanit Amb*, v.9, n.4, p. 306-311, 2004.
12. PARANÁ, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 0070/2009 – CEMA. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. Curitiba, 2009.
13. WISZNIEWSKI, 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.
14. ZANTA, V. M. et al. Resíduos Sólidos, Saúde e Meio Ambiente: Impactos associados aos lixiviados de aterro sanitário. In CASTILHOS JÚNIOR, A. B. (coordenador) Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. *Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.