



III-402 – CICLO COMPLETO (COAGULAÇÃO – FLOCULAÇÃO – SEDIMENTAÇÃO) COMO PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES TRATADO BIOLÓGICAMENTE

Elson Mendonça Felici

Engenheiro Ambiental graduado pela UNESP – Universidade Estadual Paulista Campus de Presidente Prudente. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da UEL - Universidade Estadual de Londrina.

Emília Kiyomi Kuroda⁽¹⁾

Engenheira Civil graduada pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1999. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo 2002. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo 2006. Docente do Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina, atuando na área de hidráulica e saneamento.

Gisselma Aparecida Batista

Bacharel em Química pela Universidade Estadual de Londrina. Mestranda do Programa de Pós-graduação em Química de Recursos Naturais da Universidade Estadual de Londrina.

Fernando Fernandes

Engenheiro Civil graduado pela Universidade de Campinas. Doutor pelo Instituto Nacional Politécnico de Toulouse – França. Docente do Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina, atuando na área de hidráulica e saneamento.

Sandra Márcia Cesário Pereira da Silva

Engenheira Civil graduada pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Saneamento pela Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. Pós-doutora pela Escola Politécnica – Universidade de São Paulo em Saneamento. Docente do Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina, atuando na área de hidráulica e saneamento.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Estadual de Londrina – UEL. Centro de Tecnologia e Urbanismo – CTU. Departamento de Construção Civil – DCCi. Rod. Celso Garcia Cid PR445 Km380 Campus Universitário. Cx Postal 6001 CEP 86051-990. Fone: +55 (43) 3371 4455 e +55 (43) 3371 4815 (lab) Email: elsonfelici@gmail.com

RESUMO

A crescente industrialização e urbanização do mundo moderno tem como consequência o incremento do consumo de produtos e materiais diversos, aumentando dessa forma a geração de resíduos sólidos, principalmente nas grandes cidades e em regiões metropolitanas. Uma das alternativas para a disposição desses resíduos são os aterros sanitários. Contudo, um dos grandes problemas encontrados no gerenciamento de aterros sanitários diz respeito à produção e ao tratamento do lixiviado produzido. O lixiviado de aterro de resíduos sólidos é um líquido de cor escura, odor desagradável, produzido pela decomposição físico-química e biológica dos resíduos depositados em um aterro e pela solubilização de componentes do lixo na água. Os lixiviados caracterizam-se por sua composição complexa e pelo seu grande potencial poluidor. Dessa forma esse estudo visa avaliar a aplicabilidade de processos que compõem a técnica de ciclo completo (ou coagulação/floculação/sedimentação) como pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos domiciliares, tratado biologicamente por processo de lodos ativados em batelada. Para isso, utilizou-se o equipamento de reatores estáticos jarreste e o hidróxi-cloreto de poli alumínio (PAC) como coagulante. Os parâmetros monitorados para avaliar a eficiência do tratamento foram cor verdadeira e DQO. Os resultados mostraram que a remoção de cor assim como de DQO, foram favorecidas em valores de pH ácidos, alcançando níveis próximos a 90% e 60% respectivamente, fato esse que pode estar relacionado com a presença das substâncias húmicas no lixiviado, uma vez que a solubilidade das frações dessas substâncias, é fortemente dependente do pH.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado de resíduos sólidos domiciliares, pós-tratamento físico-químico, coagulação química, floculação, sedimentação, hidróxi-cloreto de poli alumínio.



INTRODUÇÃO

A destinação final dos resíduos gerados pela sociedade moderna tem sido motivo de preocupação por parte da comunidade atenta à qualidade do meio ambiente e um grande problema enfrentado pelo poder público. Com o aumento da população e industrialização e o consumo insustentável, essa questão torna-se ainda mais complexa.

Uma das alternativas para a disposição desses resíduos são os aterros sanitários, que aplicam conhecimentos de engenharia e seguem normas pre-estabelecidas de planejamento, construção e operação, minimizando riscos e impactos ambientais (MONTEIRO, 2001). Contudo, um dos grandes problemas encontrados no gerenciamento de aterros sanitários diz respeito ao tratamento do lixiviado produzido, um líquido resultante da decomposição biológica da matéria orgânica presente nos resíduos, de cor escura, odor desagradável e alto poder poluidor, que pode causar consideráveis problemas de poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais.

O lixiviado apresenta composição variada dependendo da idade do aterro sanitário, do grau de estabilização do material sólido, das características do material aterrado e do regime de chuvas (CASTILHOS JR, 2006). Em geral, apresenta como características altas concentrações de N-amoniaco, de matéria orgânica e de compostos orgânicos de difícil degradação, como as substâncias húmicas e fúlvicas, o que dificulta o seu tratamento somente através de processos biológicos.

Assim, o emprego adicional de processos físicos e químicos como pós-tratamento de lixiviado tratado biologicamente pode constituir uma alternativa viável para aumentar a eficiência do tratamento desse tipo de efluente. Dentre as técnicas de tratamento físico-químicas utilizadas para o tratamento de lixiviado, podem-se citar a precipitação química, adsorção com carvão ativado granular, nanofiltração, ozonização, coagulação química – floculação – sedimentação e processos oxidativos avançados (AZIZ et. al., 2007).

Nesse contexto, esse estudo visa avaliar a aplicabilidade de processos que compõem a técnica de ciclo completo (coagulação – floculação / sedimentação) como pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos domiciliares, tratado biologicamente por processo de lodos ativados em batelada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lixiviado utilizado no estudo é proveniente do Aterro Controlado do Município de Londrina – PR, o qual recebe resíduos sólidos urbanos desde 1974 e ocupa uma área estimada de 19,23 ha, localizada a 7 km do centro da cidade. O clima predominante é o subtropical úmido e a temperatura anual média na região é de 22,5°C.

O Município de Londrina tem aproximadamente 500.000 habitantes e produz em média 420 t/d de resíduos domiciliares, 200 t/d de resíduos de construção civil, 60 t/d de resíduos particulares (industriais e comerciais) e 0,89 t/d de resíduos hospitalares (SOARES, 2006).

De acordo com Hossaka (2008), o lixiviado bruto coletado no aterro apresentou as características físico-químicas descritas na Tabela 1.



Tabela 1: Características físico-químicas do lixiviado bruto durante o monitoramento de Hossaka (2008).

Parâmetro	Valor máximo	Valor mínimo	Média	Unidade
Sólidos Totais Fixos	6350	4530	5526	mg/L
Sólidos Totais Voláteis	3400	1650	2218	mg/L
Sólidos em Suspensão Voláteis	204	25	65	mg/L
DBO	330	80	176	mg/L
DQO	2913	1630	2430	mg/L
pH	8,78	8,05	8,34	-
Alcalinidade	6758	4551	5734	mg/L
NKT	1666	642	1272	mg/L
N-amoniaco	1367	569	1075	mg/L
Nitrato	10	0	4	mg/L
Nitrito	0,1	0,0	0,0	mg/L
Fósforo	4,5	1,9	2,8	mg/L

SISTEMA DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

O sistema de tratamento biológico de lodos ativados, em escala piloto, foi composto por um sistema de *air stripping* para promover a redução do nitrogênio amoniacal, seguido de um reator aeróbio para promover a nitrificação e a desnitrificação via curta. Para a ocorrência da desnitrificação via curta (fase anóxica do tratamento) adicionou-se o etanol como fonte externa de carbono. A Figura 1 mostra o esquema do sistema piloto.

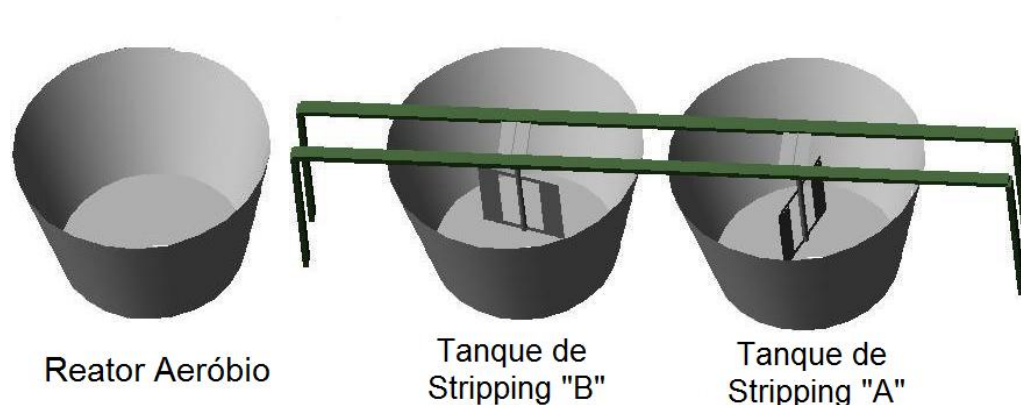


Figura 1: Esquema do sistema piloto do tratamento biológico

Os tanques de *air stripping* assim como o reator aeróbio/anóxico foram constituídos de fibra de vidro, com um volume útil de 250 L e diâmetro variável ao longo de sua altura. A Tabela 2 descreve as dimensões dos tanques de stripping e do reator aeróbio/anóxico.

Tabela 2: Descrição das dimensões dos tanques de stripping e do reator aeróbio/anóxico

Cotas	Valores (m)
Diâmetro da base	0,65
Diâmetro do topo	0,90
Altura	0,67

APLICABILIDADE DE PROCESSOS QUE COMPÕEM A TÉCNICA DE CICLO COMPLETO COMO PÓS-TRATAMENTO

Para avaliação da aplicabilidade de processos que compõem a técnica de ciclo completo (coagulação – floculação / sedimentação) como pós-tratamento, o efluente do sistema de tratamento biológico foi armazenado e acondicionado em um reservatório de 1000 L. Os experimentos foram realizados em escala de bancada, utilizando-se o equipamento jarteste, marca Nova Ética, modelo 218/LBD, mostrado na Figura 2. Os ensaios em reatores estáticos objetivaram simular em escala de laboratório as condições de coagulação, floculação e sedimentação para posterior aplicação em escala real.



Figura 2: Equipamento jarteste utilizado nos experimentos

O coagulante utilizado nos experimentos foi o hidróxi-cloreto de poli alumínio (PAC), gentilmente cedido pela empresa Produtos Químicos Guaçu. Como acidificante utilizou-se o ácido clorídrico (HCl), e como alcalinizante o hidróxido de sódio (NaOH).

As dosagens de coagulante foram determinadas através de ensaios exploratórios e de revisão de literatura. Para cada dosagem escolhida variou-se também o pH em valores ácidos (próximos a 4), neutros (próximo a 7) e básicos (próximos a 9), para a avaliar a influência do pH na remoção de cor verdadeira e DQO do lixiviado em estudo.

Os parâmetros monitorados para avaliar a eficiência dos processos de tratamento de estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros monitorados, método e equipamentos utilizados

Parâmetro	Ref. APHA, AWWA, WEF (2005)	Método	Equipamentos
DQO (mg/L)	5220 C	Método do refluxo fechado	-Bloco digestor COD Reactor HACH -Espectrofotômetro HACH DR/2010
Cor verdadeira (uH)	2120 C	Método espectrofotômetro	-Espectrofotômetro BEL 1105
Cor aparente (uH)	2120 C	Método espectrofotômetro	-Espectrofotômetro BEL 1105
Turbidez (uT)	2130 B	Método nefelométrico	-Turbidímetro HACH 2100P

Considerando-se a aplicação dos parâmetros de projeto em escala real, definiu-se, após ensaios exploratórios, o emprego do tempo de sedimentação de 6 horas, resultando velocidade de sedimentação de partículas de $V_s = 0,0194$ cm/min.

RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta um resumo das principais características do lixiviado tratado biologicamente e utilizado nesse estudo.



Tabela 4: Características do lixiviado tratado biologicamente

Parâmetros Medidos	Valor	Unidade
pH	9,05	-
Temperatura	26,8	°C
Alcalinidade	2661,1	mg CaCO ₃ /L
Condutividade	25,8	mS/cm
Oxigênio Dissolvido	0,72	mg/L
Cor aparente	5624	uH
Cor verdadeira	5041	uH
Turbidez	7,74	uT
N amoniacal	15,0	mg/L
NKT	96,7	mg/L
Nitrito	1,4	mg/L
Nitrato	12,3	mg/L
Fósforo Total	1,8	mg/L
DBO	26	mg/L
DQO	2264	mg/L
Sólidos Totais	9669	mg/L
Sólidos Fixos Totais	7182	mg/L
Sólidos Voláteis Totais	2487	mg/L
Sólidos Suspensos Totais	32,3	mg/L
Sólidos Suspensos Fixos	7,0	mg/L
Sólidos Suspensos Voláteis	25,3	mg/L

A Figura 3 apresenta os resultados de cor verdadeira e DQO, assim como suas respectivas porcentagens de remoção após o tratamento por coagulação – floculação e sedimentação, utilizando dosagem de PAC de 50mg/L.

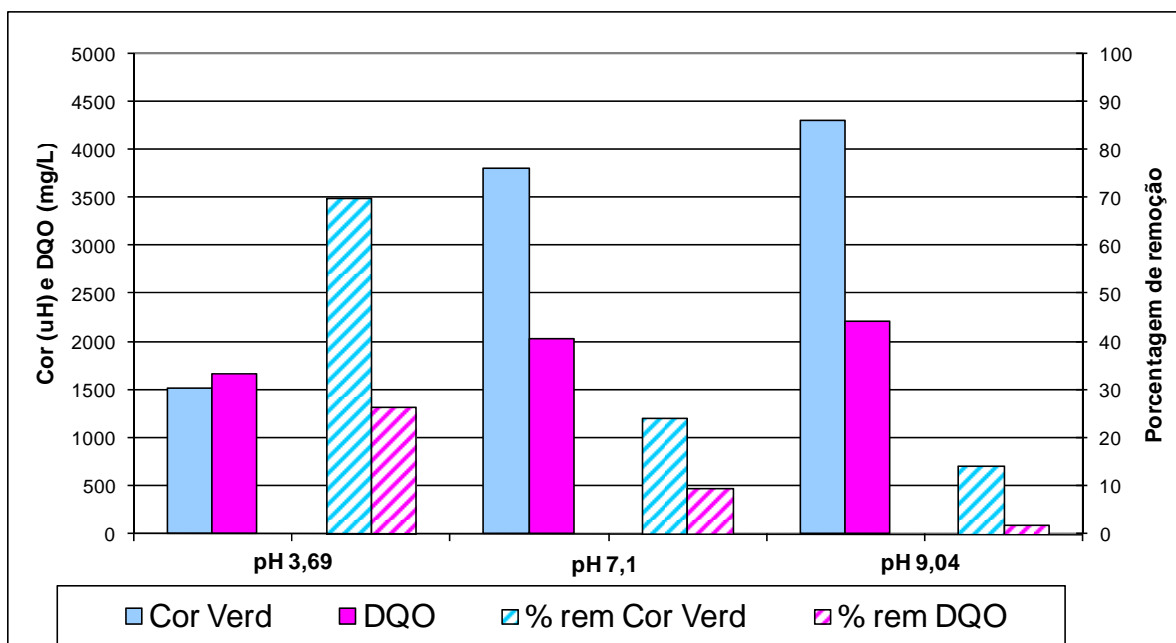


Figura3: Valores de cor e DQO e porcentagem de remoção para dosagem de PAC de 50 mg/L

A Figura 4 apresenta os resultados de cor verdadeira e DQO, assim como suas respectivas porcentagens de remoção após o tratamento por coagulação – floculação e sedimentação, utilizando dosagem de PAC de 200mg/L.

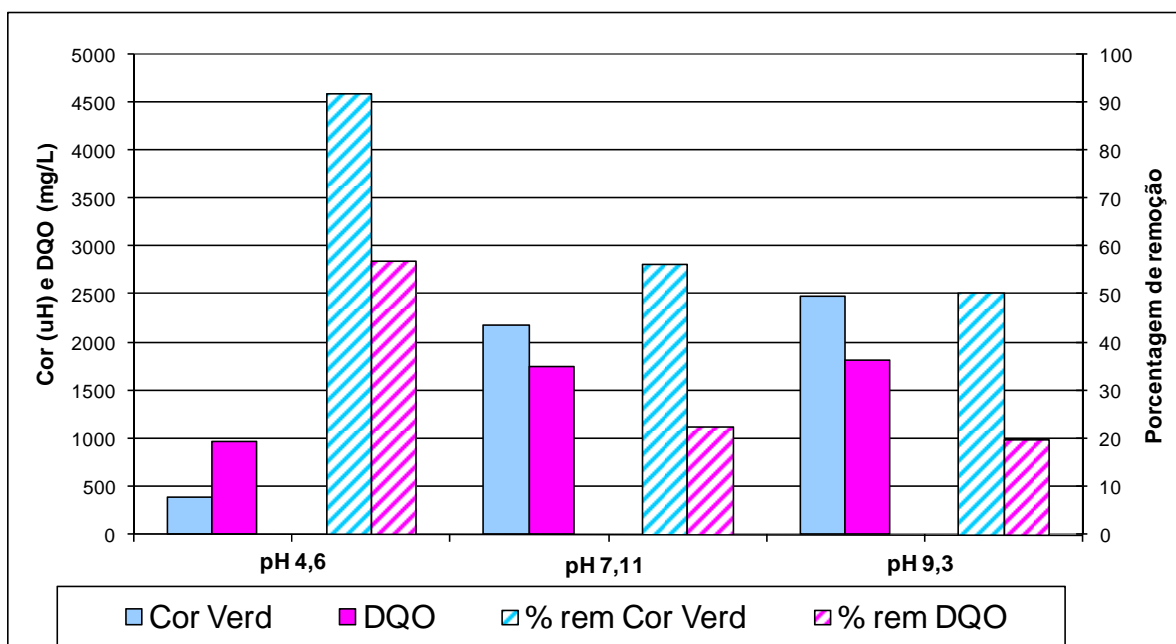


Figura 4: Valores de cor e DQO e porcentagem de remoção para dosagem de PAC de 200 mg/L

A Figura 5 apresenta os resultados de cor verdadeira e DQO, assim como suas respectivas porcentagens de remoção após o tratamento por coagulação – floculação e sedimentação, utilizando dosagem de PAC de 400mg/L.

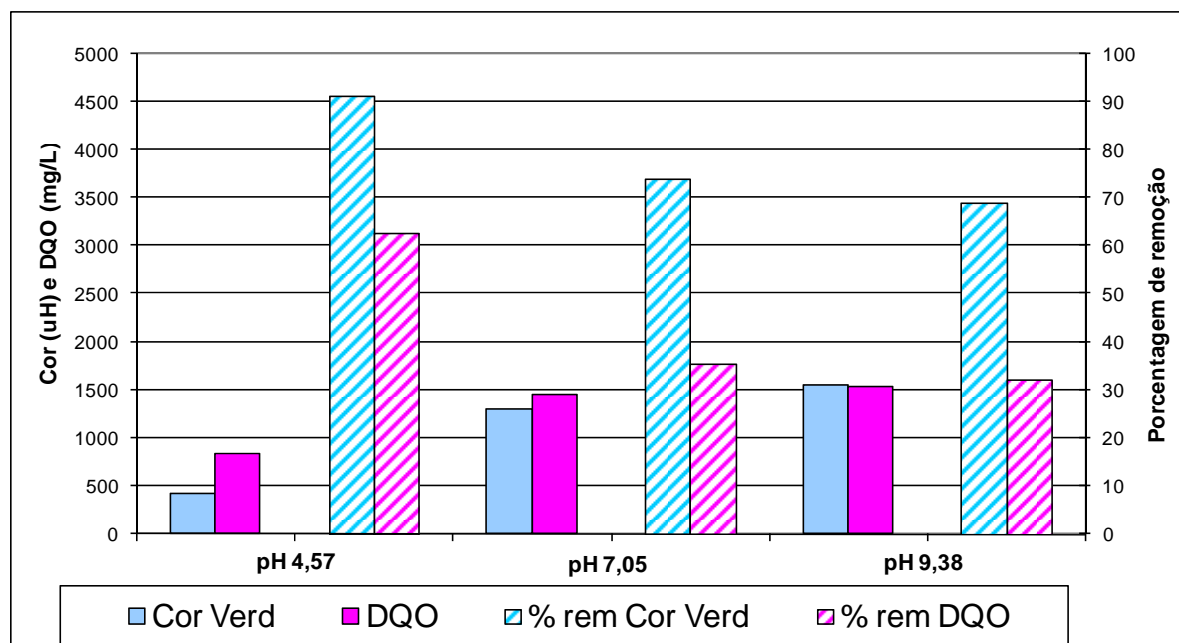


Figura 5: Valores de cor e DQO e porcentagem de remoção para dosagem de PAC de 400 mg/L

Pode-se observar nas figuras acima que a remoção de cor foi favorecida pela diminuição do pH, atingindo níveis acima de 90% em valores mais baixos de pH e com dosagens de PAC de 200 mg/L e 400 mg/L. Resultados semelhantes a esses também foram encontrados nos estudos de Wang et al. (2002), Nóbrega et. al (2004) e Aziz et. al (2007).

Essa remoção de cor com a correção do pH pode estar relacionada à presença das substâncias húmicas no lixiviado, uma vez que a solubilidade de uma fração dessas substâncias, os ácidos húmicos, é fortemente dependente do pH, provocando a formação de um precipitado quando expostos a valores de pH ácidos. Assim, acredita-se que no lixiviado em estudo, provavelmente há predominância de ácidos húmicos em relação aos fúlvicos.

A remoção de DQO também esteve diretamente ligada ao pH, alcançando os níveis mais elevados, próximos a 60%, em valores de pH ácidos. Os resultados mais satisfatórios foram encontrados nas dosagens de 200 mg/L e 400 mg/L de hidróxi-cloreto de poli alumínio.

É importante ressaltar que os resultados de remoção de cor verdadeira foram semelhantes nas dosagens de 200 mg/L e 400 mg/L de coagulante, assim como os resultados de DQO para essas mesmas dosagens. Dessa forma, pode-se inferir que a dosagem de 200 mg/L foi a mais eficiente entre as estudadas, considerando-se as porcentagens de remoção dos parâmetros analisados e a viabilidade econômica.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se verificar:

- a necessidade da consideração do pH na determinação de cor verdadeira de lixiviados devido a significativa influência observada;
- a provável predominância de ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos no lixiviado utilizado nesse estudo;
- que os resultados de remoção de cor verdadeira e de DQO foram similares para as dosagens de 200 mg/L e 400 mg/L, em pH ácido, considerando-se assim a dosagem de 200 mg /L como a mais apropriada entre as estudadas;



A aplicação de processos que compõem o tratamento por ciclo completo (coagulação – floculação / sedimentação) apresentaram-se como alternativa viável para o pós-tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos domiciliares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária e ao CNPQ pela concessão das bolsas de mestrado e de pós-doutorado aos primeiro e segundo autores, respectivamente, e à Empresa de Produtos Químicos Guaçu, pela doação de produtos químicos utilizados nos experimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF) / 21ª edição (2005).
2. AZIZ, H.A.; ALIAS, S.; ADLAN, M.N.; FARIDAH, A.H.; ZAHARI, M.S.M. Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes. **Bioresource Technology**, v.98, p.218-220, 2007.
3. CASTILHOS JR, A. B. (coord). Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos d'água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
4. HOSSAKA, A. L. (2008). Tratamento biológico de lixiviados de aterro sanitário, utilizando como pré-tratamento a remoção parcial de N-amoniaco por stripping. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Londrina. 2008.
5. MONTEIRO, J. H. P., et al. Manual de gerenciamento de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
6. NÓBREGA, S. W. et.al. Remoção de cor do chorume através da combinação de processos físico-químicos. In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte – MG, 1999.
7. SOARES, R. P. (2006). Caracterização Geoquímica dos Solos Lateríticos na Área do Sítio de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos de Londrina – PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Londrina. 2006.
8. WANG, Z.P., ZHANG, Z., LIN, Y.J., DENG, N.S., TAO, T., ZHUO, K., 2002. Landfill leachate treatment by a coagulation–photooxidation process. Journal of Hazardous Materials 95, 153–159. 2002.