

## TRATAMENTO BIOLÓGICO UTILIZANDO CHORUME DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PERIGOSOS

A.V. QUADROS<sup>1</sup>, F.R.F. DARSIE<sup>1</sup>, A. M. BERNARDES<sup>2</sup>, M. GUTTERRES<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente (LACOURO).

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M). Rua Eng. Luiz Englert, s/n. CEP 90040-040 - Porto Alegre - RS, Brasil, Telefone: 55-51-33083954, Fax: 55-51-33083277.

E-mail para contato: [aldrimvq@ibest.com.br](mailto:aldrimvq@ibest.com.br)

**RESUMO** – A geração dos resíduos industriais se transformou em um dos maiores problemas da atualidade. A quantidade e variedade de materiais descartados tornam cada vez mais complexo o seu gerenciamento. Entretanto, a utilização desse método de disposição está atrelada a potenciais impactos ambientais – geração de chorume. Ele contém elevadas concentrações de compostos orgânicos, inorgânicos e nitrogênio amoniacal. É fundamental a identificação de alternativas tecnológicas para unidades de tratamento de chorume que compatibilizem custos baixos, eficiência de tratamento e atendimento aos padrões sanitários operados no país. Para tratá-lo, recorre-se a processos aplicados na adaptação e condicionamento microbiológico ao efluente, a fim de melhorar o desempenho de um posterior tratamento biológico. Utilizou-se lodo proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes de um curtume e chorume do Aterro de Resíduos Industriais, ambos localizados na Região do Vale dos Sinos, RS. Utilizou-se 20% de lodo biológico sob o volume total. Nos ensaios executados sob a agitação de 20 rpm, no Jar Test, realizou-se monitoramento das variáveis de controle (pH, temperatura, oxigênio dissolvido) e de resposta (sólidos totais, carbono orgânico total). Os resultados definiram a condição ótima e uma eficiência de 65% de remoção de material orgânico para a etapa de tratamento biológico, bem como, o crescimento de flocos com presença de filamentos.

*Palavras-chave:* chorume, tratamento biológico, aterro de resíduo industrial, couro.

### 1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da industrialização, conseqüentemente, há o aumento de resíduos sólidos gerados pelos grandes centros urbanos e polos industriais. Muitas vezes, estes resíduos

são depositados a céu aberto, sem qualquer controle, representando um risco sanitário e ambiental.

Quando da disposição de resíduo em aterro industrial, o resíduo sólido é submetido a transformações físico-químicas e biológicas. O líquido gerado a partir da degradação desse resíduo, juntamente com a água da chuva infiltrada, é denominado chorume e possui uma composição variada, complexa e elevado potencial poluidor. Pode apresentar nesta composição, concentrações elevadas de matéria orgânica (biodegradável e refratária), metais pesados, compostos orgânicos clorados, sais inorgânicos e nitrogênio na forma amoniacal (Brites, 2008).

O tratamento de chorume é uma medida de proteção ambiental, de manutenção da estabilidade do aterro e uma forma de garantir uma melhor qualidade de vida para a população local. As técnicas comumente empregadas para tratamento de resíduos sólidos urbanos e chorume incluem os tradicionais processos biológicos, aeróbio e anaeróbio, e também uma variedade de processos físico-químicos (Baig, 1999). Entretanto, a capacidade de certos microrganismos para degradar substâncias orgânicas tóxicas é muito limitada (Buitrón e Gonzáles, 1996). Além destes microrganismos estarem sujeitos a quaisquer variações de pH ou de cargas tóxicas, que podem paralisar o metabolismo, outras dificuldades também são comumente encontradas. Entre os principais inconvenientes destacam-se a dificuldade no controle da população de microrganismos e a necessidade de um tempo relativamente longo para que os efluentes atinjam padrões aceitáveis. Alterações no meio fazem o microrganismo alterar também seu metabolismo, ou ainda, a aclimação de um consórcio microbiano a determinados compostos poluentes pode promover diferentes possibilidades de transformação.

Quando não é possível aumentar a biodegradabilidade do efluente, deve-se recorrer a processos de adaptação biológica dos microrganismos ao efluente. A aclimação, quando realizada em uma estação de tratamento de efluentes, consiste basicamente no fornecimento de concentrações gradativamente crescentes do efluente associado a um substrato assimilável para a cultura de microrganismos. O processo pode durar dias (sistema aeróbio), meses e anos (sistemas anaeróbios) (Chen *et al.*, 2005). Efluentes complexos como o chorume, que apresentam na sua composição compostos orgânicos com as mais diversas funções químicas, necessitam de um maior tempo para a aclimação, devendo a concentração do substrato complexo ser menor que a concentração de inibição (Souza, 2010).

Na microbiota de sistemas de lodos ativados são encontrados diversos tipos de bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários (Rodrigues, 2007). Processos aeróbios são aqueles nos quais a comunidade microbiana, bactérias facultativas e protozoários, degrada os poluentes orgânicos utilizando o oxigênio molecular (Telles, 2010). Uma matriz gelatinosa permite a aglutinação das bactérias, protozoários e outros microrganismos, responsáveis pela remoção da matéria orgânica, em flocos macroscópicos. Os flocos possuem dimensões bem superiores às dos microrganismos individualmente, o que facilita sua sedimentação (Sperling *et al.*, 2002).

Quando a relação alimento/microrganismos se apresenta em níveis em que a taxa de crescimento dos microrganismos é limitada pela disponibilidade de alimento (fase de crescimento à taxa decrescente), parte dos destes começa a morrer e os flocos começam a ser formados. Na fase endógena, as bactérias passam a metabolizar predominantemente as reservas de alimentos de dentro de suas próprias células, com uma consequente queda no

nível de energia. Conforme o nível de energia cai, a taxa de formação dos flocos cresce rapidamente (Alem Sobrinho, 1981).

Partindo desse contexto, essa pesquisa pretende analisar a biodegradação de chorume de aterro industrial em reatores em batelada, bem como verificar a formação e crescimento dos flocos biológicos durante o condicionamento e aclimação.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para os experimentos realizados nesta pesquisa foram coletados 40 L de chorume, gerado a partir dos resíduos de couro dispostos no Aterro Industrial de Novo Hamburgo/RS, para os testes preliminares de condicionamento e aclimação.

No sistema de tratamento biológico foi utilizado, como inóculo, lodo biológico de curtume. Este lodo, originalmente, é usado para tratar um efluente com DQO em torno de 6.000 mg/L.

O chorume utilizado foi caracterizado antes e depois para avaliar a remoção de matéria orgânica e a técnica de tratamento empregada.

### 2.1. Operação

Realizaram-se ensaios em batelada em reatores montados em um equipamento Jar Test visando à variação de tempo, com aclimação e sem aclimação do lodo biológico adicionado, a fim de comparar e analisar os resultados da formação dos flocos e remoção de material orgânico. A duração dos ensaios foi de 12, 24 e 120 horas, com e sem aclimação.

A rotina operacional do sistema de tratamento biológico é mostrada a seguir. **Alimentação e Preparação das Amostras:** O chorume com altos índices de material orgânico e inorgânico foi diluído a fim de tornar possível a ação bacteriana presente no lodo. O sistema foi alimentado de uma só vez com chorume bruto (sem um prévio tratamento), numa razão de 10% da concentração do chorume, ou seja, 450 mL de água + 50 mL de chorume, para os ensaios sem aclimação. A diluição do chorume no conteúdo do reator foi utilizada para não induzir efeitos tóxicos dos poluentes à biomassa. Já para os ensaios com aclimação, a cada dia inseriram-se 10 mL do volume total. Após isso, foram adicionados 125 mL de lodo. As soluções foram aeradas por 15 minutos através de bombas de ar comprimido (tipo empregado em aquário), com a finalidade de proporcionar melhores condições para a vida bacteriana presente no lodo. **Aeração:** Após etapas iniciais, o oxigênio era introduzido dentro do sistema por bombeamento de ar, mantendo-se uma concentração de oxigênio dissolvido em torno de 2 mg O<sub>2</sub>/L, com a finalidade de oxidar a amônia a nitrito (nitrificação). Além disso, as soluções foram submetidas a uma velocidade de 20 rpm, com monitoramento dos parâmetros visando a observação da formação de flocos. **Sedimentação:** com a aeração desligada, esperava-se a sedimentação da massa biológica, por 60 minutos. Após isso, o sobrenadante era coletado para avaliação dos parâmetros analíticos.

### 2.2. Monitoramento dos parâmetros no tratamento biológico

Foram monitorados dentro dos reatores os seguintes fatores de controle: pH, temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido (OD). Estes procedimentos eram

realizados no início e no final do processo do tratamento. As variáveis de resposta (Carbono Orgânico Total e Sólidos Totais) foram escolhidas para avaliação do tratamento do chorume, comparando-as antes e após o tratamento, para verificação da remoção da matéria orgânica.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra a caracterização do chorume que foi utilizado. Os valores obtidos nas análises representam um efluente com grande carga orgânica com relação a outros efluentes de mesma origem.

Tabela 1 – Parâmetros de caracterização do chorume.

Parâmetro	Unidade	Resultados
OD	mg/L O <sub>2</sub>	0,6
Temperatura	C	15
pH	-	6,9
DBO	mg DBO <sub>5</sub> /L	190.000
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	268.540,0
Nitrogênio Total	mg/L N	29.748,30
Nitrogênio Orgânico	mg/L NH <sub>3</sub> -N	20.368,20
Nitrogênio amoniacal	mg/L NH <sub>3</sub> -N	9.380,10
Nitrato	mg/L NO <sub>3</sub> -N	90,75
Nitrito	µg/L	1.349,2

O monitoramento é importante, pois informa a qualidade do chorume que está entrando no sistema de tratamento. Através dos parâmetros físico-químicos e biológicos verifica-se que o chorume é um líquido que apresenta alta heterogeneidade e variabilidade.

A Figura 1 apresenta a homogeneização do lodo realizada no equipamento de Jar Test (a) e os flocos formados após o ensaio (b).

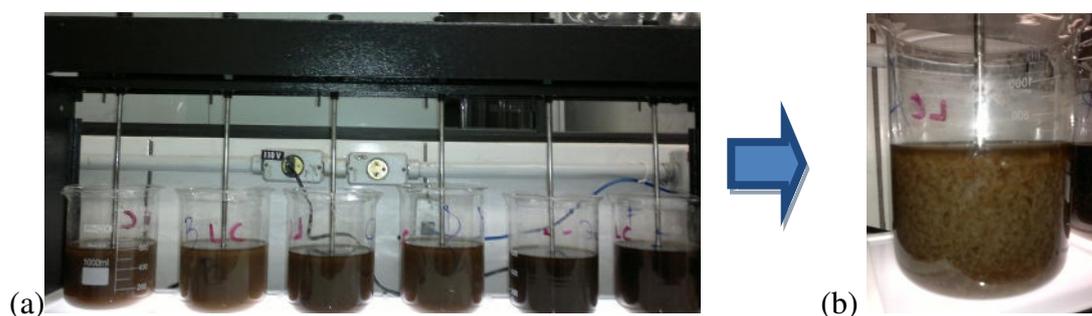


Figura 1 – (a) Homogeneização do lodo e (b) formação dos flocos.

Os resultados de eficiência na remoção de matéria orgânica do efluente a diluído são apresentados na Figura 2.

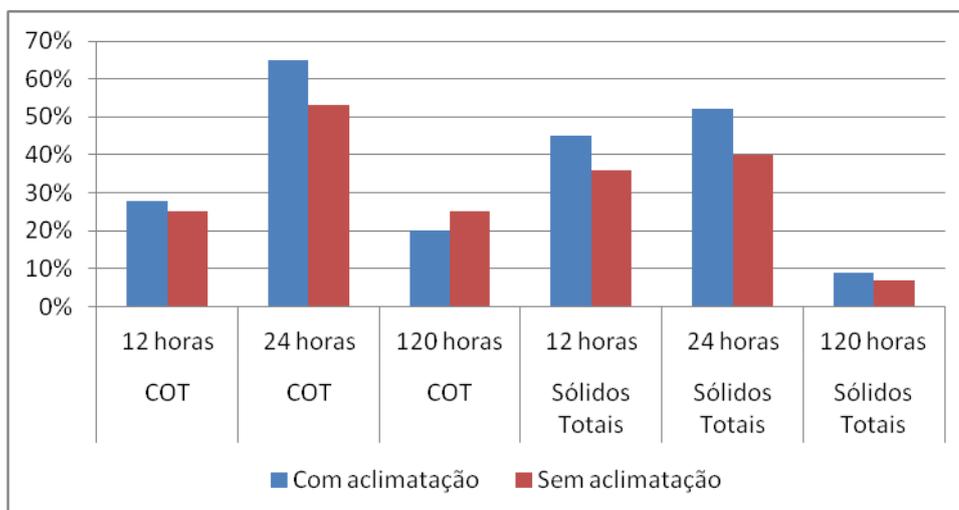


Figura 2 – Remoção de matéria orgânica.

Durante o processo de condicionamento, adaptação e posterior tratamento do chorume, a eficiência total durante os ciclos operados de 12, 24 e 120 horas, foi de 28%, 65% e 20%, respectivamente, para o parâmetro Carbono Orgânico Total (COT) com lodo sendo aclimatado. Entretanto, para o mesmo parâmetro analítico, quando não realizada a aclimação, os valores de eficiência na remoção de material orgânico foram inferiores. O comportamento dos resultados dos Sólidos Totais foi similar ao COT. Os ciclos de 12, 24 e 120 horas apresentaram uma eficiência de 45%, 52% e 9% de remoção, respectivamente, quando se operou com aclimação. Contudo, quando não houve aclimação durante o tratamento, os valores de eficiência baixaram para 36%, 40% e 7%. Diante dos resultados obtidos, infere-se que o ciclo de 120 horas, de para condicionamento, adaptação e tratamento, , apresentou queda significativa na eficiência do tratamento biológico comparando com os demais ciclos. Isso se deve ao longo período de exposição do lodo biológico a inúmeros compostos tóxicos, inviabilizando o crescimento de flocos e, conseqüentemente, a redução da matéria orgânica existente na amostra. Segundo Leite *et al.* (2007), nos processos de tratamentos biológicos, a eficiência de transformação de material orgânico está associada à presença de uma equilibrada massa bacteriana, que seja capaz de suportar as variações de cargas orgânicas aplicadas, à presença de materiais com características tóxicas no substrato e às variações das condições ambientais. Em estudo recente desenvolvido por Spagni *et al.* (2009), tratando chorume de aterro sanitário, foi obtida uma eficiência de remoção de 30-40% durante 900 dias de experimento, usando um reator sequencial com volume de 24 L. Para Luna *et al.* (2002), os sólidos totais representam a fração teoricamente orgânica presente no substrato, sendo assim, quanto maior a concentração de sólidos totais, maior a taxa de bioconversão do resíduo. A redução de sólidos totais foi associada ao equilíbrio estabelecido entre os diferentes grupos de microrganismos responsáveis pelo processo de bioestabilização da matéria orgânica.

A dificuldade de aclimação e eficiência no tratamento é corroborada pela presença de organismos filamentosos predominantes, floco forte e grande, e abundante quantidade de filamentos, fatores que podem interferir com a sedimentação. A Figura 3 (a e b) demonstra que na formação dos flocos ocorre a presença de bactérias ou fungos filamentosos, além da presença de partículas coloidais, após o estágio de sedimentação, no processo da batelada.

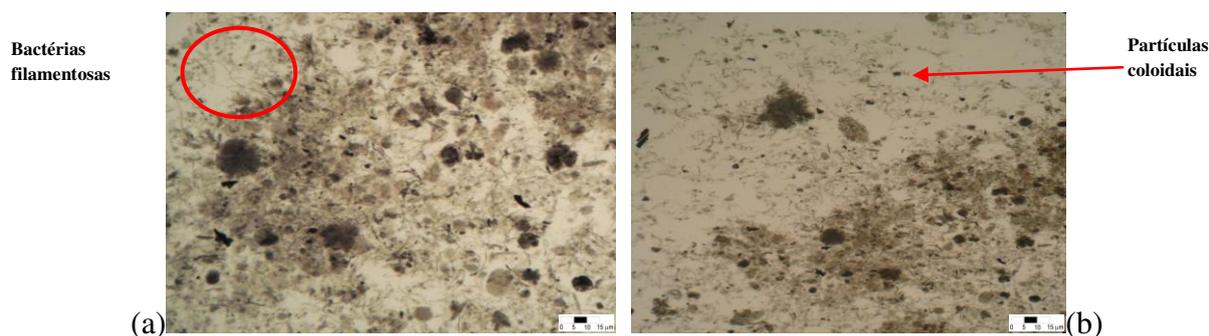


Figura 3 – (a) Formação de flocos e bactérias filamentosas aderidas ao substrato. (b) Presença de partículas coloidais nos flocos.

Os valores elevados de material orgânico do efluente usado nesta pesquisa, bem como a presença de outros compostos, podem ter prejudicado diretamente a eficiência de remoção, pois podem ter inibido o condicionamento, aclimatação e posterior tratamento do chorume, mesmo usando apenas 10% de sua concentração inicial. Provavelmente, condições como temperatura, pH e quantidades de nutrientes e cargas tóxicas podem influenciar na quantidade de microrganismos existentes (Gomes *et al.*, 2006). A densidade, diversidade e especificidade da microfauna, presente nos lodos em reatores em batelada, são características da idade do lodo, da saprobiedade do meio e das demais condições do sistema (Morais, 2005). As espécies reagem individualmente aos fatores de seleção do meio, segundo suas características. Os flocos dos lodos ativados são formados por dois níveis de estrutura: a micro e a macroestrutura. A microestrutura é formada pelos processos de adesão microbiana e biofloculação, enquanto a macroestrutura é formada pelos organismos filamentosos, os quais formam uma espécie de rede dentro dos flocos sobre a qual as bactérias aderem (Alem Sobrinho, 1981). Portanto, os insucessos na separação do lodo e formação do floco, podem estar relacionados a problemas da micro e/ou da macroestrutura dos flocos (Rodrigues, 2007). As bactérias são os principais constituintes dos flocos biológicos, o equilíbrio entre bactérias formadoras de flocos e as filamentosas é determinante para que os flocos apresentem boa estrutura, compacta e robusta (Metcalf e Eddy, 2003).

Realizou-se também o monitoramento dos fatores de controle. Os valores de pH variaram de 7,1 a 7,6 nos ensaios com aclimatação e sem aclimatação, independente do tempo. A maior parte das bactérias necessita de um pH próximo da neutralidade como faixa ótima de crescimento. O pH afeta a atividade de enzimas, a solubilização dos compostos e mesmo as suas toxicidades. A maioria das bactérias sobrevivem em ambientes de pH abaixo de 9,5 e acima de 4,0, sendo que o ótimo se situa em torno da neutralidade (6,5 a 7,5) (Metcalf e Eddy, 2003).

A temperatura nos ensaios com aclimatação e sem aclimatação variou de 25 a 28 °C. Salienta-se que entre os microrganismos presentes em sistemas biológicos, os tipos mais comumente encontrados são os mesófilos, cuja temperatura ótima de crescimento está entre 25 °C e 40 °C (Tortora *et al.*, 2000). Em estudo realizado por Costa *et al.* (2003) envolvendo variações de temperatura, foi possível constatar que a maior eficiência de remoção de matéria orgânica, correlacionada com boas características apresentados pelos flocos do sistema, ocorreu quando a temperatura foi mantida entre os valores 25 e 35 °C (Morais, 2005).

Com relação às concentrações do OD, essas ficaram de 2 a 4 mg O<sub>2</sub>/L. Salienta-se que a aeração no sistema de lodos é aplicada para fornecimento de oxigênio e geração de

turbulência suficiente para manter os sólidos em suspensão no tanque de aeração. Quanto menores as bolhas no líquido, maior será a área superficial e, portanto, maior a transferência de oxigênio. Para garantir um bom desempenho do sistema de tratamento é necessário que o oxigênio dissolvido (OD) seja mantido com valores superiores a 2 mg/L (Sperling, 2002).

#### 4. CONCLUSÕES

Atualmente o tratamento do chorume representa um grande desafio, tendo em vista a variação de suas características em função da heterogeneidade dos resíduos dispostos e da idade do aterro. O chorume é um líquido de natureza complexa, tornando-se difícil a determinação de técnicas efetivas de tratamento.

Com os dados do reator biológico fica claro que, mesmo com o tratamento biológico, ainda resta no efluente uma quantidade significativa de matéria orgânica, que por não ser degradada no processo, deve se tratar de compostos de cadeias longas e de difícil biodegradabilidade, que possivelmente só pode ser removida em processos posteriores por meio de tratamento físico-químico ou pela inserção de algum processo oxidativo avançado (POA).

A matéria orgânica recalcitrante, ou inerte, está relacionada à matéria orgânica de natureza refratária, ou seja, de difícil biodegradabilidade.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem:

- À FAPERGS (Edital FAPERGS 04/2012 – Programa PqG) e ao CNPq (Edital UNIVERSAL – MCTI/CNPq N° 14/2013) pelo apoio financeiro;
- À FAPERGS (Edital FAPERGS/CAPES 17/2012 – Programa de Bolsas DTI para Centros e Laboratórios Multiusuários) pela concessão de bolsas de pesquisa;
- À FUNDAMENTAL (Fundação de Desenvolvimento Ambiental) pelo fornecimento de amostra de chorume pertinente ao desenvolvimento da pesquisa;
- Ao Curtume Bender pelo fornecimento de lodo biológico para uso dos ensaios.

#### 6. REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P. A influência da idade do lodo e das características hidráulicas do tanque de aeração no desempenho do processo de lodos ativados. Determinação dos parâmetros de crescimento biológico para esgoto predominantemente doméstico. Tese de Doutorado pela Escola politécnica da USP, São Paulo, 1981.

BAIG, I. COULOMB, P. COURANT e P.LIECHTI, “Treatment of landfill leachates: lapeyrouse and satrod case studies”, *Ozone Science & Engineering*, vol. 21, pp. 1–22, 1999.

BRITES, E. C. F.; Operação de reator em bateladas sequenciais visando a nitrificação de lixiviado de aterro novo: avaliação em escala de bancada, p. 20-22. 2008.

BUITRÓN, G.; GONZÁLES, A.; *Wat. Sci. Tech.* 1996, 34, 289.

CHEN, Y.; CHEN, Y,-S.; XY, O.; ZHOU, O. GU, G. Comparison between acclimated and unacclimated biomass affecting anaerobic-aerobic transformations in the biological removal of phosphorus. *Process Biochemistry*. V.40, p. 723–732, 2005.

COSTA, F.C.; RODRIGUES, F. S. M.; FONTOURA, G. T.; CAMPOS, J. C.; SANTÁNA J. R.; DEZZOTI, M. Tratamento do efluente de uma indústria química pelo processo de lodos ativados convencional e combinado com carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 8, (4), p.274-284, 2003.

GOMES, Luciana Paulo. LANGE, Lisete Celina.; JUCÁ, José Thomé F.; FERNANDES, Fernando; SILVA, S.M.C.P. Processos e Monitoramento da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS Jr., Armando Borges de (Orgs.). 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, 494 p. 2006.

LEITE, V. D., LUNA, M. L. D., BENTO, E. R., LOPES, W. S., SILVA, R. R. F., 2007, “Estudo do pH e nitrogênio amoniacal no processo de stripping de amônia”, 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, MG, Brasil.

LUNA, M.L.D; LEITE, V.D.; PRASSAD, S.; LOPES, W.S.; JÚNIOR, G.B.A.; SOUZA, M.A. Comportamento dos Sólidos Totais e Sólidos Totais Voláteis em reator anaeróbio com baixa concentração de sólidos. *SÓLIDOS. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2002.

METCALF & EDDY, INC. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4ª ed. International Edition. Revisada por TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p. (McGraw-Hill series in civil and environmental engineering).

MORAIS, J.L. Estudo da Potencialidade de Processos Oxidativos Avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de lixiviado de Aterro Sanitário. Tese (Doutorado em Química), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

RODRIGUES, M. S. M.; Tratabilidade do lixiviado efluente da lagoa facultativa do aterro de Curitiba por lodos ativados, p. 42-48. 2007.

SOUZA, A.A.R.; SOARES, A.F.; GOMES, L.P.; MIRANDA, L.A.S. Estudo da remoção de matéria carbonácea e nutrientes em reator seqüencial em batelada, tratando mistura de esgoto doméstico e lixiviado de aterro sanitário pré-tratado em lagoas de estabilização. In: X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Maceió, 2010.

SPAGNI, A.; MARSILI-LIBELLI, S. Nitrogen removal via nitrite in a sequencing batch reactor treating sanitary landfill leachate. *Bioresource Technology* 100, 609–614p, 2009.

SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Lodos ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, vol. 4, 2002.

TELLES, C. A. S.; Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário. p. 30. 2010.

TORTORA, G.; SUNKE, B.R.; CASE, C. L. Microbiologia. Porto Alegre: Artmed, 6 ed., 2000.