



## IX Oktoberfórum – PPGEQ

19, 20 e 21 de outubro de 2010

### ESTUDO DO AUMENTO DA BIODEGRADABILIDADE DE CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO

Laura Ranincheski Alves<sup>1</sup>, Isabel Cristina Tessaro<sup>1</sup>, Aline Schilling Cassini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Processos de Separação com Membranas  
Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
R. Eng. Luis Englert, s/n. Campus Central. CEP: 90040-040 - Porto Alegre - RS - BRASIL,  
E-MAIL: {laura\_ra,isabel}@enq.ufrgs.br

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tratamento de chorumes de aterros sanitários, sua fonte, características e dificuldades de tratamento. A baixa biodegradabilidade comum aos diversos tipos de chorume, indicada pela baixa razão  $DBO_5/DQO$ , é discutida como sendo um dos principais problemas na aplicação de tratamentos convencionais para a degradação da matéria orgânica presente no lixiviado. São discutidas também técnicas para o aumento desta razão  $DBO_5/DQO$ , tais como o uso de coagulação e/ou a utilização de membranas de ultrafiltração; o processo combinado destas duas técnicas, a fim de atingir-se um valor aceitável de biodegradabilidade que viabilize o uso de sistemas biológicos no tratamento de chorume também é discutido.

**Palavras-chave:** CHORUME; BIODEGRADABILIDADE; ATERROS SANITÁRIOS; COAGULAÇÃO; MEMBRANAS.

#### 1 Introdução

O crescente aumento na geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e os próprios RSU, devido ao aumento da população nos grandes centros urbanos, constituem um grande problema para a sociedade. Segundo pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000 – o Brasil produz cerca de 230 mil toneladas de RSU diariamente e cerca de 70% dos resíduos sólidos coletados no território brasileiro são depositados em aterros sanitários ou aterros controlados. Uma das grandes desvantagens desta destinação final é a geração de um efluente líquido com elevada instabilidade termodinâmica devido à presença de compostos não estabilizados derivados da decomposição parcial da matéria orgânica e com uma série de compostos naturais sintéticos dissolvidos e suspensos. Tal efluente, se não administrado e tratado corretamente, pode ocasionar séria depreciação à qualidade de vida das populações que o produzem (FLECK, 2003).

Os lixiviados de aterros sanitários podem ser definidos como o líquido proveniente da umidade natural e da água de constituição presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos da degradação biológica dos materiais orgânicos e da água de infiltração na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos que foram extraídos da massa de resíduos. A norma brasileira NBR 8849/1985 (ABNT, 1985) define lixiviado utilizando o termo ‘chorume’: o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, de cor escura,

mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

A falta de tratamento ou o tratamento inadequado do chorume é um grave problema para o meio ambiente. A grande quantidade de chorume gerado nos aterros, a elevada carga orgânica e a variedade de outros contaminantes que esse efluente pode conter tornam seu tratamento difícil e oneroso. Pode-se afirmar que não existe um tratamento ideal para o chorume, de modo geral se aplicam tratamentos semelhantes aos tratamentos para águas residuárias sendo os mais utilizados os tratamentos biológicos.

O chorume contém alta quantidade de matéria orgânica – entre as quais as substâncias húmicas e recalcitrantes são refratárias à bioegração – elevada concentração de nitrogênio e existência de íons metálicos. Devido a estas características, que demonstram a complexidade deste tipo de efluente, os tratamentos convencionais têm sua eficiência limitada quando usados para tratar o lixiviado.

Biodegradabilidade é definida como “a capacidade de uma substância ser decomposta em substâncias mais simples pela ação de bactérias”. A biodegradabilidade é medida através da razão entre a Demanda Química de oxigênio e a Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_5/DQO$ ). Porém essa razão tende a diminuir de acordo com o tempo de vida (idade) do aterro, tornado ineficiente o tratamento biológico.

Dessa forma, encontrar maneiras de aumentar a razão ( $DBO_5/DQO$ ) do chorume é uma forma interessante de iniciar o tratamento e favorecer os tratamentos biológicos

convencionais já implantados nos aterros sanitários existentes.

## 1.1 Objetivos

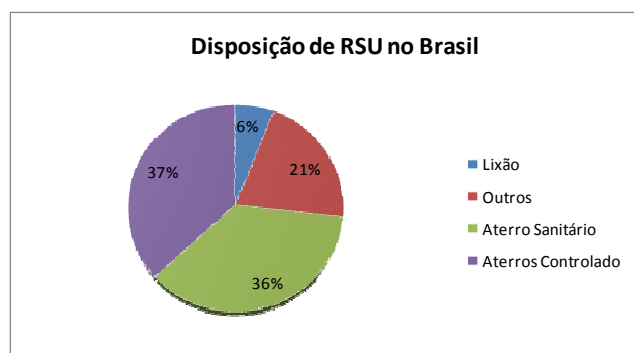
O objetivo geral desse trabalho é revisar os conceitos relativos ao lixiviado de aterro sanitário e estudar técnicas para aumentar a biodegradabilidade de um chorume de aterro sanitário.

Além disso, neste artigo, também é apresentada a estratégia experimental que será adotada para atingir o objetivo deste estudo.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU)

Segundo a mais recente Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002), o Brasil produz, diariamente, cerca de 230 mil toneladas de resíduos sólidos. Quase a totalidade desses resíduos é disposta no solo, seja em forma de aterros sanitários, aterros controlados ou vazadouros a céu aberto (Figura 1). A pesquisa anterior, realizada em 1989, mostrou que a soma do lixo enviado para aterros controlados e aterros sanitários representava apenas 10,7% do total do resíduo coletado.



**Figura 1:** Destino final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil segundo as várias formas de disposição, em porcentagem da massa total.

Entre os tratamentos existentes para os resíduos destacam-se a reciclagem, a compostagem (para matérias orgânicas) e o tratamento térmico. Existem, ainda, alternativas de disposição final, tais como os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários.

- O **Lixão** ou **Lançamento a Céu Aberto** é uma forma rudimentar de disposição do lixo. Os resíduos são descarregados sobre o solo, sem nenhuma forma de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Apesar de ser reduzido cada vez mais o uso deste tipo de disposição, ainda é o mais utilizado em pequenas cidades, como mostra a pesquisa do IBGE de 2000, ilustrada na Figura 1.

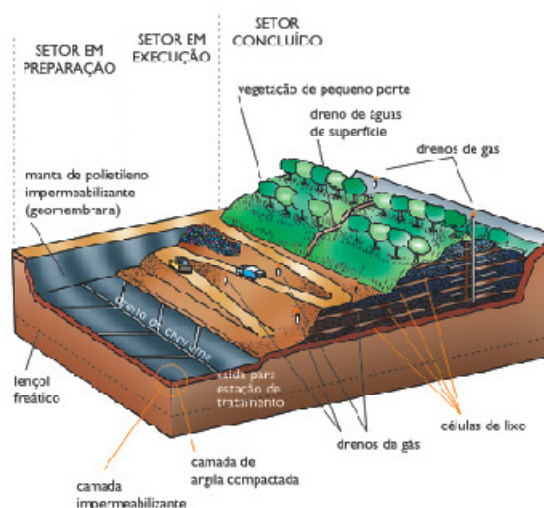
- No **Aterro Controlado** os resíduos são dispostos no solo com alguns cuidados ambientais, como recobrimento dos resíduos com camada de material inerte – usualmente argila – na conclusão de cada jornada de trabalho; porém não apresenta impermeabilização na base

nem drenagem de líquidos e gases, o que compromete a qualidade das águas subterrâneas.

- O **Aterro Sanitário** é uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos que permite um confinamento seguro, minimizando ao máximo os riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Nestes são utilizados critérios de engenharia e normas operacionais específicas.

Apesar de existirem formas que proporcionam uma redução do volume final de resíduos, como reciclagem e compostagem, os aterros são mais utilizados por representarem a solução mais econômica para os resíduos. O aterro sanitário representa uma solução técnica de fácil execução e viável economicamente para países em desenvolvimento como o Brasil (BIDONE; POVINELE, 1999).

A Figura 2 mostra, esquematicamente, as características de um aterro sanitário. Na figura pode-se observar os diferentes estágios de um aterro; uma etapa já concluída, uma etapa em execução e uma etapa em preparação. No projeto de um aterro sanitário, deve-se fazer um dimensionamento para que se alcance uma vida útil de, no mínimo, dez anos. A principal variável utilizada no dimensionamento é a quantidade de lixo gerado, que é conhecida através de pesagens periódicas do lixo gerado.



**Figura 2:** Representação esquemática da configuração do aterro sanitário em três etapas diferentes de preparação. FONTE: URBAM (2008)

Quando construído e controlado de forma adequada, o aterro sanitário é uma solução eficiente para o resíduo urbano, podendo ser aplicado a qualquer volume, de simples execução, não exigindo equipamentos especiais e permitindo o controle de vetores e a transformação do material degradável em material estabilizado naturalmente. Algumas desvantagens, porém, têm feito com que se busquem soluções alternativas para os resíduos. Entre essas desvantagens pode-se destacar a crescente urbanização, que tem diminuído as áreas viáveis para a construção de novos aterros, uma vez que a área necessária é grande e deve estar distante de centros urbanos.

O tratamento do chorume de aterros sanitários está sendo motivo de muitos estudos, não somente pelo grande volume gerado, mas também pela variação de suas características ao longo do tempo de vida do aterro, os

tratamentos convencionais, de uma maneira geral, têm se mostrado ineficientes.

## 2.2 Processo de degradação em aterros sanitários

No processo de decomposição dos resíduos, a degradação anaeróbia é predominante, sendo esta um processo bioquímico complexo composto de várias reações seqüenciais, cada uma com sua população bacteriana específica. São definidas cinco fases distintas para avaliar a estabilização dos resíduos sólidos em aterros sanitários descritas a seguir.

- Fase I (Fase de ajustamento inicial) - Esta fase está associada com a disposição recente dos resíduos e início do acúmulo de umidade no interior do aterro, tem curta duração e se caracteriza pela presença de microrganismos aeróbios e facultativos. Os compostos orgânicos biodegradáveis começam a sofrer degradação em condições aeróbias.

- Fase II (Fase de transição) - Nesta fase há a transição do ambiente aeróbio para o anaeróbio. Ao final desta fase observam-se concentrações de DQO e ácidos graxos voláteis no lixiviado.

- Fase III (Fase de formação de ácidos) - A contínua hidrólise dos resíduos, seguida pela conversão microbiológica dos compostos orgânicos biodegradáveis, resulta na produção dos ácidos graxos voláteis em concentrações bastante elevadas. Uma diminuição do pH é nitidamente observada, o que diminui a solubilização de compostos inorgânicos. Há o consumo de nutrientes (nitrogênio e fósforo) em função do crescimento dos microrganismos associados à produção de ácidos.

- Fase IV (Fase de fermentação) - Durante esta fase, os ácidos intermediários são consumidos pelos microrganismos metanogênicos, sendo convertidos a metano e dióxido de carbono. A carga orgânica do lixiviado decresce e a produção de gases aumenta. O valor do pH é elevado, sendo controlado pela capacidade tampão do sistema e há um importante consumo de nutrientes. Sulfatos e nitratos são reduzidos a sulfeto e amônia, respectivamente. Os metais são removidos do lixiviado por complexação e precipitação.

Fase V (Fase de maturação final) - Nesta fase, a concentração de substratos e nutrientes disponíveis torna-se limitante e a atividade microbiológica reduz significativamente. A produção de gases entra em queda acentuada e o lixiviado apresenta baixa carga orgânica. O oxigênio e espécies oxidadas podem lentamente reaparecer, observando-se um aumento do potencial redox. A degradação de matérias orgânicas resistentes à biodegradação pode ocorrer lentamente e haver formação de moléculas e ácidos húmicos.

Os principais fatores que influenciam a cinética dos processos de biodegradação dos resíduos são: granulometria, composição, idade, umidade, massa específico e grau de compactação dos resíduos, aspectos quantitativos e qualitativos de nutrientes, temperatura e pH dos líquidos presentes no aterro.

## 2.3 Lixiviado de aterro sanitários

Os lixiviados de aterros sanitários são definidos como o líquido originário da umidade natural e da água presente na matéria orgânica dos resíduos, dos produtos de degradação biológica dos materiais orgânicos e da água infiltrada na camada de cobertura e interior das células de aterramento, somado a materiais dissolvidos ou suspensos que foram extraídos da massa de resíduos.

A grande quantidade de chorume gerada nos aterros, a elevada carga orgânica e a variedade de outros contaminantes presentes nesse tipo de efluente tornam seu tratamento difícil e oneroso. Pode-se afirmar que não existe um tratamento ideal para o chorume, de modo geral se aplicam tratamentos semelhantes aos tratamentos para águas residuárias, sendo os mais utilizados os tratamentos biológicos.

O chorume contém alta quantidade de matéria orgânica (refratária à biodegradação) – entre as quais as substâncias recalcitrantes e húmicas fazem parte – elevada concentração de nitrogênio e existência de íons metálicos. Devido a estas características, que demonstram a complexidade deste tipo de efluente, os tratamentos convencionais têm suas eficiências limitadas quando usados para tratar o lixiviado.

## 2.4 Composição média do chorume

As características físico-químicas e biológicas dos lixiviados dependem do tipo de resíduo aterrado, do grau de decomposição destes resíduos, de fatores climatológicos, da idade do aterro, da profundidade do resíduo enterrado, entre outros. Mostrando que a composição do chorume pode variar consideravelmente de um aterro para outro e entre épocas diferentes do ano (REINHART *et al* 1998)

Os lixiviados de aterros são constituídos de uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, em solução e em estado coloidal e diversas espécies de microrganismos (ANDRADE, 2002). Os lixiviados podem ser caracterizados como uma solução aquosa com quatro grupos de poluentes: material orgânico dissolvido (ácidos graxos voláteis e compostos orgânicos mais refratários como ácidos húmicos e fúlvicos), macro componentes inorgânicos (íons de cálcio, manganês, sódio, potássio, cloro, entre outros), metais pesados (Cadmio, cromo, cobre, níquel, zinco, entre outros) e compostos orgânicos xenobiotóticos presentes em baixas concentrações (hidrocarbonetos, aromáticos, fenóis, pesticidas, entre outros)

Na Tabela 1 estão representados os valores médios para os principais parâmetros considerados nas fases metanogênicas e acetanogênicas da degradação anaeróbia.

**Tabela 1:** Valores médios de parâmetros importantes nas fases de degradação do chorume de aterro sanitário.

Parâmetro	Fase Acetogênica	Fase Metanogênica
pH	6,1	8,0
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	13000	180
DQO (mg/L)	22000	3000
DBO <sub>5</sub> /DQO	0,58	0,06
Sulfato (mg/L)	500	80
Cálcio (mg/L)	1200	60
Magnésio (mg/L)	470	180
Ferro (mg/L)	780	15
Manganês (mg/L)	25	0,7
Zinco (mg/L)	5,0	0,6

Fonte: Morais (2005).

## 2.5 Biodegradabilidade

A biodegradabilidade é “a capacidade de uma substância ser decomposta em substâncias mais simples pela ação de bactérias”. Quanto maior a taxa de biodegradabilidade, mais facilmente o chorume pode ser tratado biologicamente (KEWU, 2008). A avaliação da biodegradabilidade aeróbia subsidia a determinação da concepção de sistemas de tratamento aeróbio mais adequados para uma condição específica, podendo evitar problemas futuros como baixas eficiências e custos elevados de manutenção de operação.

No entanto, a biodegradabilidade do efluente é afetada por muitos fatores. Os fatores mais relevantes são: fonte e quantidade de microrganismos e condições físico-químicas do meio, tais como concentração de oxigênio, temperatura, pH, dentre outros. Bila (2000) e Mota *et al* (1998) apontam a presença de material recalcitrantes em chorumes gerados em aterros sanitários estabilizados como responsável pela baixa biodegradabilidade.

Kewu *et al* (2008) conseguiram aumentar a razão de biodegradabilidade de um chorume de aterro sanitário estabilizado, de uma província da China, chegando a resultados satisfatórios:

- aumento da razão DBO<sub>5</sub>/DQO de 0,05 para 0,14, usando testes de coagulação;
- aumento da razão de DBO<sub>5</sub>/DQO de 0,05 para 0,37, usando fracionamento com membranas;
- no uso do processo combinado a razão DBO<sub>5</sub>/DQO chegou a apresentar valores de 0,4.

## 2.6 Substâncias refratárias

O tratamento do lixiviado apresenta-se como desafio principalmente para lixiviados de aterros sanitários estabilizados, os quais apresentam alta concentração de matéria orgânica refratária, amônia e compostos tóxicos, além de elevados valores de pH. Atualmente, tem sido

empregada a conjugação de sistemas biológicos e físico-químicos para tratar lixiviados com tais características.

### 2.6.1 Substâncias recalcitrantes, húmicas e fúlvicas

O termo recalcitrância está associado à dificuldade ou impossibilidade de degradação de certas substâncias químicas na natureza. Os compostos recalcitrantes são aqueles que resistem a biodegradação e tendem a persistir e se acumular no ambiente; tais materiais não são necessariamente tóxicos aos microrganismos responsáveis pelos processos de degradação e reciclagem de nutrientes, mas simplesmente são resistentes ao ataque metabólico dos mesmos.

A dificuldade da degradação dessas substâncias depende de vários fatores, dentre eles:

- da estrutura química com ausência de grupos reativos;
- da molécula recalcitrante poder exercer ação tóxica sobre a microflora ou inativar enzimas no processo do metabolismo celular;
- da capacidade da molécula de complexar ou interagir com elementos ou compostos químicos tornando-se pouco acessível para metabolização.

Urase *et al* (1997) afirmam que, em chorumes, a recalcitrância estaria associada à presença de compostos de elevada massa molar, com estruturas muito complexas, como é o caso das substâncias húmicas.

## 3 Estratégia Experimental

### 3.1 Descrição dos experimentos

Aqui serão discutidos os experimentos a serem realizados de forma a atingir os objetivos gerais do trabalho que são:

- caracterizar uma amostra de chorume proveniente de um aterro sanitário;
- estudar o aumento da biodegradabilidade (razão DBO<sub>5</sub>/DQO) usando as técnicas de coagulação e fracionamento com membranas de forma individual e combinada.

### 3.2 Caracterização da amostra

A amostra de lixiviado, proveniente de um aterro sanitário localizado no Rio Grande do Sul, será primeiramente caracterizada para a determinação da biodegradabilidade (razão DBO<sub>5</sub>/DQO) para, posteriormente, realizars os testes para o aumento da mesma. Para tanto, já foi realizado contato com a Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente (FEPAM) para que sejam fornecidas amostras de chorume bruto para o estudo.

Os testes a serem realizados para a caracterização da amostra são:

- DQO;
- DBO<sub>5</sub>;
- N-total;
- sólidos suspensos totais;
- sólidos dissolvidos;
- pH;

- carbono orgânico total;
- turbidez.

Os testes serão realizados segundo apontamentos do *Standart Methods Examination of Waste Water*.

### 3.3 Aumento da razão DBO<sub>5</sub>/DQO

O aumento da taxa da biodegradabilidade (DBO<sub>5</sub>/DQO) se deve à remoção das substâncias recalcitrantes do efluente bruto. Para tanto, serão empregados os seguintes métodos para obtenção de uma relação DBO<sub>5</sub>/DQO compatível com tratamentos biológicos convencionais: coagulação e fracionamento com membranas de ultrafiltração.

#### 3.3.1 Coagulação

O processo de coagulação permite remover substâncias de grande massa molar e sólidos suspensos que são responsáveis pelo alto valor de DQO encontrado nos chorumes de aterro sanitário estabilizados. Serão realizados testes de jarros, com a adição de agentes coagulantes ao efluente bruto, a fim de determinar:

- as melhores condições de operação do sistema de coagulação – pH e concentração de coagulante;
- o melhor tipo de coagulante - testes com coagulantes férricos e de alumínio.

As mesmas análises realizadas para a caracterização da amostra de chorume bruto, serão realizadas para a comparação após o tratamento com o coagulante.

#### 3.3.2 Fracionamento com membranas de ultrafiltração (UF)

A utilização de membranas no fracionamento de substâncias de diferentes massas molares tem mostrado um bom resultado para remoção de substâncias de alta massa molar. Serão avaliadas membranas de ultrafiltração de diferentes massas molares de corte para fracionar o chorume bruto e concentrar as substâncias recalcitrantes.

Como pré-tratamento para a utilização das membranas de UF, será testada a filtração com membranas de microfiltração (MF).

Serão realizados os seguintes estudos no que se refere às membranas de UF:

- caracterização das membranas em relação ao fluxo permeado e à retenção;
- testes com membranas de diferentes massa molar de corte para determinar a mais adequada; aquela que apresentar o maior grau de aumento para a taxa de biodegradabilidade (DBO<sub>5</sub>/DQO);
- para as membranas selecionadas serão determinadas as melhores condições de operação, o fluxo crítico, o fator de concentração, a tendência ao *fouling*.

As mesmas análises realizadas para a caracterização da amostra de chorume bruto, serão realizadas para as amostras de concentrado e permeado recolhidas para avaliar a eficiência do processo.

### 3.3.3 Processo combinado

Após a identificação das condições ótimas de trabalho das técnicas de coagulação/floculação e fracionamento com membranas, será estudada, também, a eficiência da combinação entre os dois processos no aumento da razão DBO<sub>5</sub>/DQO.

## 4 Considerações finais

Diante desta revisão bibliográfica sobre o assunto, notou-se a relevância do estudo de tratamento do chorume de aterros sanitário, devido ao seu elevado potencial poluidor. O não tratamento deste efluente acarreta diversos problemas ambientais.

Uma das dificuldades inerentes ao tratamento do chorume está na sua baixa biodegradabilidade, devido à presença de substâncias recalcitrantes, de difícil acesso aos microrganismos presentes nos tratamentos biológicos. O aumento da razão DBO<sub>5</sub>/DQO mostra-se, como uma alternativa de pré-tratamento eficiente quanto ao aumento da razão de biodegradabilidade.

Espera-se com este trabalho estabelecer um processo que melhore as condições de biodegradabilidade do chorume a ser tratado, minimizando, desta forma, o problema ambiental gerado pelo descarte ou tratamento inadequado deste efluente.

## 5 Referências Bibliográficas

ANDRADE, J. Tratamento de percolado de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos enfatizando o uso de Processos Oxidativos Avançados”. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

BIDONE, F. R. A.; POVINELE, J. Conceitos básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EEC/USP, 1999.

BILA, D. M. Aplicação de processos combinados no tratamento do chorume, Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

BOHDZIEWICZ, J.; MICHAL, B., GÓRSKA, J. Application of pressure-driven membrane techniques to biological treatment of landfill leachate. *Process Biochemistry* v.36, p. 641–646, 2001.

Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras/Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 2009

FLECK, E. Sistema integrada por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação de mestrado, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil, 2003.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000. IBGE, 2002.

KEWU, P.; WENQI, G. Biodegradability enhancement of municipal landfill leachate. *Water Science and Engineering* v.30 No.4, p. 89-98, 2008.

MORAIS, J. L. Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário. Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, Brasil, 2005.

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. ABES, Rio de Janeiro, 1997.

REINHART, D.R.; GROSH, C. J. Analysis of florida MSW Landfill leachate quality. Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management - University of Central Florida. Gainesville. 1998.

SILVA, A. C. Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

URASE T.; SALEQUZZAMAN, M.; KOBAYASHI, S.; MATSUO, K. Y. T.; SUZUKI N. Effect of high concentration of organic and inorganic matters in landfill leachate on the treatment of heavy metals in very low concentration level, *Water Science Technology*, vol. 36, pp. 349–356, 1997.