

Eficiência da remoção de amônia através da aplicação do processo de *air stripping* no tratamento de lixiviado de aterro sanitário

Gabriela Kuehn

Orientador: Msc. Heloísa Alves Pereira dos Santos

2011/1



**CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

**EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE AMÔNIA ATRAVÉS DA
APLICAÇÃO DO PROCESSO DE AIR STRIPPING NO
TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO**

GABRIELA KUEHN

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental - TCC II**

BANCA EXAMINADORA



Mestranda Heloísa Alves Pereira dos Santos
(Orientador)



Doutoranda Débora Machado de Oliveira
(Membro da Banca)



Dra. Cláudia Lavina
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS - SC
FEVEREIRO/2011**

Kuehn, Gabriela

Eficiência da Remoção de Amônia através da aplicação do processo de *stripping* no tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

Gabriela Kuehn - Florianópolis, 2011.

x, 40p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Título em Inglês: Study the process of air stripping applied to the treatment of landfill leachate to remove ammonia

1. Tratamento de lixiviado. 2. Air Stripping. 3. Remoção de amônia

*Dedico essa pesquisa a minha mãe, Teresinha,
por todos os ensinamentos, pela força e pela luz.
As minhas irmãs que sempre me apoiaram
nos momentos mais difíceis. A minha avó Josefina,
que sempre esteve ao meu lado.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a minha mãe que me deu todo o suporte necessário, amor, educação e a ter persistência mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha orientadora Msc. Heloísa Alves Pereira dos Santos, por toda orientação prestada, paciência e dedicação.

As minhas irmãs Adriana e Juliana por estarem sempre ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

Aos meus avôs Josefina e Eletto que contribuíram muito para eu ser o que sou hoje.

As minhas amigas que sempre estiveram ali nos momentos de descontração, alegria e de me proporcionarem momentos únicos e inesquecíveis.

A força que existe no universo que nos faz querer crescer, lutar e persistir mesmo quando as coisas se tornam difíceis e parecem ser impossíveis de serem solucionadas.

À Universidade Federal de Santa Catarina por todo o conhecimento adquirido durante a graduação.

Resumo

O lixiviado de aterro sanitário possui um elevado potencial poluidor por conta de suas características físico-químicas e microbiológicas. Um de seus componentes mais problemáticos é o nitrogênio amoniacal que está presente no lixiviado geralmente em concentrações na ordem de 2000 mg/L. Por suas concentrações tão elevadas, pode ocasionar problemas em sistemas de tratamento biológico, sendo mais recomendado sua remoção por processos físico-químicos. O presente trabalho teve como objetivo principal estudar a remoção de nitrogênio amoniacal pelo processo de *air stripping* de amônia que consiste numa técnica de pré-tratamento físico-químico onde ocorre a transferência deste composto da fase líquida para a fase gasosa através do contato da amônia com o ar. Este processo é facilitado pela alcalinização prévia do lixiviado, e então foram testados três tipos de alcalinizantes para avaliar o desempenho deles em relação à remoção de características físico-químicas do lixiviado como cor e turbidez. A geração de lodo e análise do custo também foram objeto deste estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de lixiviado, *air stripping*, remoção de amônia

Abstract

The landfill leachate has a high pollution potential because of its physical-chemical and microbiological. One of his most problematic component is the ammonia that is present in the leachate at concentrations typically in the order of 2000 mg / L. For their concentrations so high, can cause problems in biological treatment systems, and most recommended their removal by physical and chemical processes. This work had as main objective to study the removal of ammonia nitrogen by the process of air stripping of ammonia which is a technique of pre-physical-chemical treatment occurs where the transfer of this compound in the liquid phase to the gas phase through the spot with the ammonia air. This process is facilitated by prior alkaline leachate, and then tested three types of alkalizing to evaluate their performance regarding the removal of physical and chemical characteristics of the leachate as color and turbidity. The sludge generation and cost analysis were also the subject of this study.

KEY WORDS: leachate treatment, air stripping, ammonia removal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. <i>Objetivos</i>	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. <i>Aterro sanitário</i>	3
2.1.1. Lixiviado de aterros sanitários	4
2.1.2. Amônia no Lixiviado	5
2.1.3. Tratamento de lixiviado	5
2.2. <i>Air stripping de amônia</i>	7
2.2.1. Conceitos	7
2.2.2. Princípios do processo	8
2.2.3. Tratamento de lixiviado por air stripping	9
2.2.4. Torres de air stripping	10
2.3. Alcalinização Prévia	10
3. METODOLOGIA	11
3.1. Coleta e preservação das amostras	11
3.2. Aparato experimental	12
3.3. Local do estudo	14
3.4. Métodos analíticos	14
3.5. Alcalinização do lixiviado	15
3.6. Análise do lodo gerado	16
3.7. Ensaio de <i>air stripping</i>	16
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	17
4.1. Caracterização do Lixiviado.....	17
4.2. Alcalinização Prévia.....	18
4.2.1. Remoção de cor e turbidez.....	18
4.2.2. Geração de Lodo.....	20
4.2.3. Custo da alcalinização	21
4.3. Ensaio de <i>Air Stripping</i>	21
4.3.1. pH e Nitrogênio Amoniacal Total	22
4.3.2. DQO	24
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Proporção entre a amônia livre e o íon amônio em função do pH do meio.	8
Figura 2- Funcionamento de uma torre de <i>air stripping</i>	10
Figura 3 - Aterro Sanitário de Biguaçu/SC.	12
Figura 4 - Esquema do aparato experimental.	13
Figura 5 - Recheio da torre de <i>air stripping</i>	14
Figura 6 - Ensaio de Alcalinização.	18
Figura 7 - Remoções de cor e turbidez.	19
Figura 8 – Ensaio de Sedimentação. Cone 1 (hidróxido de cálcio), Cone 2 (cal hidratada) e Cone 3 (hidróxido de sódio).	20
Figura 9- pH e Nitrogênio Amoniacal Total ao longo do ensaio de <i>air stripping</i> com alcalinização prévia com Cal Hidratada.	22
Figura 10- pH e Nitrogênio Amoniacal Total ao longo do ensaio de <i>air stripping</i> com alcalinização prévia com NaOH.	23

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros, métodos e frequência das análises.	15
Tabela 2 – Características físico-químicas do lixiviado bruto....	17
Tabela 3– Remoções de cor e turbidez.....	19
Tabela 4 – Custo da alcalinização	21
Tabela 5 – Concentrações de DQO antes da alcalinização, após a alcalinização e após o <i>air stripping</i>	24

1. INTRODUÇÃO

No Brasil foram produzidas 57 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2009, destas cerca de 28 milhões de toneladas foram encaminhadas para aterros sanitários, segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, produzido pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2009). Os aterros sanitários são atualmente a forma de disposição final e tratamento de RSU mais recomendada do ponto de vista técnico e econômico, e também por permitirem o controle dos dois principais impactos ambientais associados à degradação dos resíduos sólidos, à geração de gases e lixiviados. Este último, por possuir composição complexa e heterogênea, pode apresentar-se com uma das maiores dificuldades desde a escolha à operação de um sistema de tratamento de efluentes de um aterro.

O lixiviado de aterro sanitário possui um elevado potencial poluidor devido suas características físico-químicas. Ele requer um tratamento adequado, pois pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas e superficiais no entorno do aterro sanitário. Dos poluentes encontrados, o nitrogênio causa grande preocupação. A presença deste poluente em concentrações elevadas, da ordem de 2000 mg/L, pode ser responsável pela poluição de corpos hídricos receptores, causando eutrofização, toxicidade para flora e fauna aquática, etc. No Brasil não há norma específica para lançamento de efluentes de aterros sanitários em corpos receptores, mas aplica-se a Resolução CONAMA nº 357/05 cuja concentração de nitrogênio amoniacal não pode exceder 20 mg/L.

Algumas tecnologias são aplicadas com o objetivo de remover o nitrogênio amoniacal, mas nem todas apresentam eficiências satisfatórias e boas relações de custo/benefício. O processo de air stripping de amônia em torres recheadas tem sido pesquisado há alguns anos e vem demonstrando capacidade de remover até 90% do nitrogênio amoniacal do lixiviado. É uma técnica de pré-tratamento físico-químico onde ocorre a transferência da amônia da fase líquida para a fase gasosa através do contato da amônia contida no líquido com o ar. Este processo de volatilização da amônia é influenciado principalmente pelo pH do lixiviado. Em pH 9,25 a amônia está presente no lixiviado na seguinte proporção: 50% na forma ionizada (NH_4^+) que não é volátil, e 50% na forma não ionizada (NH_3), que é volátil. Já em pH 11 a amônia não ionizada chega a 99%, aumentando a eficiência do processo.

Neste sentido, o intuito do presente estudo foi aprimorar uma tecnologia viável e capaz de tratar com eficiência e baixo custo o lixiviado em termos de remoção de nitrogênio amoniacal.

1.1. *Objetivos*

1.1.1. Objetivo Geral

Estudar a remoção de amônia através do processo de *air stripping* aplicado ao tratamento de lixiviado previamente alcalinizado.

1.1.2. Objetivos Específicos

- I. Avaliar o desempenho de 3 tipos de alcalinizantes segundo análise de custo, remoção de cor, turbidez e geração de lodo;
- II. Avaliar a eficiência de remoção da amônia em lixiviado previamente alcalinizado aplicando-se o processo de *air stripping* em torre recheada aerada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aterro sanitário

Segundo a NBR 8419/1984 (ABNT, 1984) aterro sanitário é definido como “técnica de disposição dos resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.”

O projeto de um aterro sanitário tem como principais objetivos: a proteção da qualidade das águas subterrâneas, proteção da qualidade do ar através da queima ou recuperação do biogás produzido, e minimização dos impactos nas águas superficiais adjacentes. Além disso, deve-se ter um cuidado para que a utilização do local do aterro seja realizada com eficiência, a fim de estender sua vida útil e permitir o aproveitamento do uso do solo após o seu fechamento (QASIM e CHIANG, 1994).

O aterro sanitário se destaca dentre as diferentes técnicas para tratamento dos resíduos sólidos de origem urbana, como um método tecnicamente e economicamente adequado para as condições do país (SOUZA, 2005).

Como vantagens podem ser citadas: disposição do lixo de forma adequada; capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos; e condições especiais para a decomposição biológica da matéria orgânica presente. O inconveniente dessa técnica inclui a possibilidade de poluição do meio ambiente pelos produtos da decomposição dos resíduos; indisponibilidade de grandes áreas; indisponibilidade de material de cobertura diária; condições climáticas não favoráveis durante todo o ano; e a falta de pessoal habilitado em gerenciamento de aterros (LIMA, 2004 *apud* BAHÉ, 2008).

A decomposição dos resíduos sólidos está sob influência de agentes naturais (chuva e microrganismos); e acontece através de mecanismos físicos, biológicos e químicos, resultando em dois produtos: gás de aterro e lixiviado. Esses produtos são os vetores da poluição de um aterro sanitário; e o lixiviado possui muitas vezes carga poluidora maior que a do esgoto doméstico (RITA, 2002).

Pela norma brasileira NBR 8849/1985 (ABNT, 1985), lixiviado é definido como “o líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, de cor escura, mau cheiro e elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)”.

Segundo SANTANA-SILVA (2008), lixiviado ou percolado é a denominação atual dada à mistura de líquidos provenientes da umidade natural dos resíduos sólidos, da infiltração de água no aterro proveniente de fontes externas e de uma pequena quantidade de líquido oriunda do processo de biodegradação.

A formação do lixiviado é resultado da remoção de compostos solúveis através da percolação não uniforme e intermitente da água pela massa de resíduos. Estes compostos solúveis são encontrados nos resíduos dispostos, ou formados por processos químicos e biológicos de degradação, explicam El-Fadel, Findikakis e Leckie (1997). O processo de lixiviação em aterros sanitários, segundo Tchobanoglous, Thiesen e Vigil (1993), é a quantidade de água que excede a capacidade de retenção da umidade do material alterado representado pelos resíduos sólidos. Fatores como a precipitação, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração e temperatura, afetam diretamente a capacidade de quantificar os lixiviados (CASTILHOS JUNIOR, 1991).

Os lixiviados caracterizam-se pela sua composição complexa e sua variabilidade em relação à quantidade e qualidade gerada que é influenciada pelo tipo de resíduo depositado no aterro. Em geral os lixiviados, ou chorume, como são comumente denominados, apresentam altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos, bem como uma alta concentração de amônia (CASTILHOS JR. et. al., 2003).

Segundo CASTILHOS JR et. al. (2003), os resíduos sólidos resultam de uma mistura de uma grande variedade química, que sob a influência de agentes naturais como a chuva e microrganismos sofrem evoluções complexas, constituídas pela superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Além da dissolução dos elementos minerais e da percolação da água pelo aterro carreando partículas finas e materiais solúveis, o principal responsável pela degradação dos resíduos é a conversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas, o que resulta em biogás e lixiviados.

2.1.2.

Amônia no Lixiviado

A amônia é um gás incolor, mais leve do que o ar. É facilmente liquefeito devido à formação de pontes de hidrogênio entre as suas moléculas (MARTINEZ RODRIGUEZ, 2007).

O nitrogênio amoniacal é um dos grandes problemas relacionados ao tratamento de efluentes, pois ele contribui diretamente para a poluição dos corpos hídricos. Resultante de processos bioquímicos, o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrogênio orgânico, amônia (NH_3) e como íons amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A forma orgânica consiste de uma complexa mistura de compostos incluindo aminoácidos, aminoaçúcares e proteínas, que podem ser solúveis ou particulados (METCALF & EDDY, 2003).

Os aterros sanitários, por serem ambientes predominantemente anaeróbios, produzem efluentes com baixíssimas concentrações de nitritos e nitratos. Por outro lado, a grande atividade biológica presente tanto na massa de resíduo quanto no sistema de drenagem faz com que a quase totalidade do nitrogênio orgânico seja convertida em nitrogênio amoniacal dentro do próprio aterro. Desse modo, há elevadas concentrações de amônia e muito pouco nitrogênio orgânico no lixiviado (SOUTO, 2009).

Efluentes como o lixiviado têm padrões de lançamento bastante rígidos e estabelecidos pela Resolução CONAMA 397/08. A máxima concentração permitida para o nitrogênio amoniacal total é de 20 mg.L^{-1} . Essa Resolução altera entre outras coisas os padrões de lançamento de efluentes anteriormente definidos na Resolução CONAMA. 357/2005 (Ministério do Meio Ambiente, 2008).

De acordo com a Portaria n°. 3 214/78 do Ministério do Trabalho e Emprego, a Norma Regulamentadora (NR) n°. 15 estabelece que a atividade dos trabalhadores que lidam com o lixo urbano é considerada insalubre e em grau máximo. No tocante à presença de amônia no ar, esta legislação informa que essa substância oferece grau médio de insalubridade e seu limite de tolerância é de 20 mg.L^{-1} em tempo de exposição de até 48 h/semana (Ministério do Trabalho, 1978).

2.1.3.

Tratamento de lixiviado

Frente aos efeitos nocivos das emissões de amônia no meio ambiente e sua expressiva concentração encontrada no lixiviado de

aterros sanitários, além da necessidade de se cumprir as normas específicas de operação de aterros sanitários, faz-se fundamental o tratamento desse efluente líquido (FERRAZ, 2010).

A decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento de lixiviado deve ser fundamentada em uma avaliação com critérios técnicos e econômicos, com a apreciação de parâmetros quantitativos e qualitativos, vinculados essencialmente à realidade em foco (LIMA et al., 2005).

A variabilidade das características do lixiviado torna os sistemas de tratamento complexos, pois inúmeros fatores interferem na escolha da melhor forma de tratar esse tipo de efluente. O tipo de tratamento para lixiviado adotado dependerá em primeiro lugar, das características do aterro e, em segundo lugar, da sua localização física e geográfica (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993). Segundo SANTANA-SILVA (2008), aparentemente, o tratamento para lixiviado novo e biodegradável provenientes de aterros novos apresenta maior dificuldade devido à variabilidade das suas características físico, químicas e biológicas, diferente de lixiviado de aterros velhos com características mais estáveis.

Ainda segundo SANTANA-SILVA (2008), os métodos convencionais de tratamento de lixiviado podem ser classificados em quatro grandes grupos: transferência de lixiviado – recirculação, evaporação e tratamento combinado com esgotos; métodos biológicos – aeróbios e anaeróbios; métodos físicos e químicos – adsorção, precipitação química, coagulação/floculação, oxidação química, *air stripping* ou remoção de amônia por injeção de ar e filtração por membranas; e por fim, métodos alternativos – *wetlands* construídos e o sistema de barreira bioquímica.

Neste trabalho será dada ênfase para o processo físico-químico de tratamento *air stripping*.

2.1.3.1. Tratamento Físico-Químico de Lixiviado de Aterro Sanitário

Da busca por alternativas que melhor atendessem às necessidades do tratamento do lixiviado, surgiram as aplicação dos processos físico-químicos, tais como precipitação, coagulação-floculação, adsorção, oxidação química e *air stripping* (FERRAZ, 2010).

O tratamento por processos físico-químicos de lixiviados apresentam a vantagem de estes requererem um curto período para

entrarem em funcionamento, simplicidade dos equipamentos e materiais, fácil automatização e pouca sensibilidade às constantes mudanças de temperatura (PINEDA e IGNACIO, 1998)

Máximo e Castilhos Jr. (2007) aplicaram a coagulação-floculação ao tratamento do lixiviado, utilizando-se dos agentes coagulantes cloreto férrico e sulfato de alumínio, com o intuito de remover matéria orgânica (denotada pela DQO). Para ambos os coagulantes, a remoção de DQO foi cerca de 30 % e o cloreto férrico mostrou-se mais eficaz removendo 30 % da amônia; a eficiência do sulfato de alumínio na remoção da amônia foi ínfima, ou seja, inferior a 5 %. Com isto, é possível que a toxicidade da amônia remanescente pudesse comprometer a eficácia de um eventual pós-tratamento biológico.

Diante de todos os processos apresentados nesses itens, pode-se concluir que nenhum deles é capaz de promover uma boa remoção de amônia sem que seus custos operacionais sejam elevados. Portanto, se para países em desenvolvimento a instalação de aterros sanitários é dificultada por limitações econômicas, a adoção de tecnologias de alto custo para o tratamento do lixiviado pode tornar-se impraticável (FERRAZ, 2010).

Souto (2009) aplicou o processo de *air stripping* para remoção da amônia do lixiviado por meio de duas torres recheadas, avaliando experimentos com e sem aeração. A princípio constatou-se a necessidade de aeração do sistema, e a vazão de ar foi cerca de 3.600 L.h⁻¹. Para um volume de lixiviado em torno de 12 L e sem ajuste de pH, observou-se remoção praticamente completa do nitrogênio amoniacal em 7 dias. Para volume de 10 L de lixiviado e pH 12, sob a mesma vazão de ar, o mesmo resultado foi obtido em apenas 2,5 dias.

2.2. *Air stripping* de amônia

2.2.1. *Conceitos*

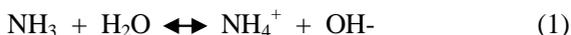
Air stripping ou arraste com ar consiste em transferir os componentes voláteis da fase líquida para a fase gasosa, utilizando uma corrente de ar ou vapor através de alguns dispositivos: câmaras de aeração, sistemas de aspersão e colunas de recheio (mais eficiente). Os fatores a serem considerados no dimensionamento das unidades de extração com ar são os seguintes: características dos compostos a serem

removidos; temperatura de operação; relação entre a quantidade de ar e a de água; tempo de contato e área superficial necessária para o processo de transferência de massa (MIEZWA & HESPANHOL, 2005).

O *air stripping* de amônia é um processo físico de remoção da fase gasosa do líquido, principalmente devido à elevação da superfície total de contato da fase líquida com o meio (atmosférico) circundante, de modo que efeitos de arraste e difusão molecular promovam a sua passagem para este último (METCALF & EDDY, 1991).

2.2.2. Princípios do processo

Em meio aquoso a amônia (NH_3) é ionizada e dá origem ao íon amônio (NH_4^+) conforme a reação (1).



Estas duas formas de amônia (N- NH_3 amônia livre e N- NH_4^+ íon amônio) estão em equilíbrio e a proporção entre elas depende do pH do meio (USEPA, 1975). A figura 1 apresenta os percentuais destas duas formas em função do pH do meio. Percebe-se que a partir do pH de tamponamento, igual a 9,25, a presença de amônia livre torna-se predominante, chegando a 100% em pH próximo a 12.

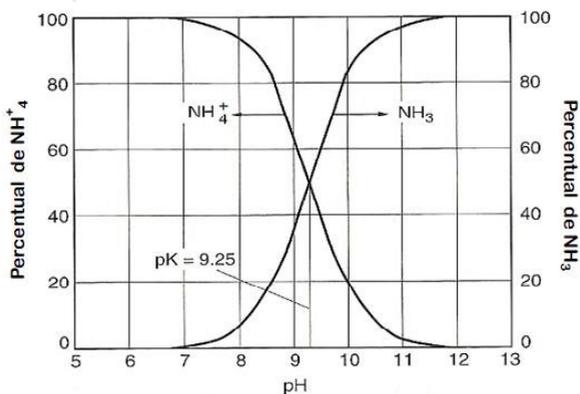


Figura 1- Proporção entre a amônia livre e o íon amônio em função do pH do meio.

Fonte: SOUTO (2009).

O valor medido em laboratório e que corresponde à soma destas duas formas de amônia é denominado nitrogênio amoniacoal ou nitrogênio amoniacoal total.

Para que esta transferência ocorra, a amônia em sua forma iônica (NH_4^+) deve ser convertida à forma gasosa (NH_3), conforme apresentado na Reação (R-1). Esta conversão pode se dar tanto pela elevação do pH, o que reduz a concentração dos íons H^+ , quanto pelo deslocamento do equilíbrio químico provocado pelo contato do gás de arraste com o lixiviado. Isto porque, na medida em que o gás retira do líquido certa quantidade de NH_3 , uma mesma quantidade de NH_4^+ deverá ser consumida para manutenção do equilíbrio da reação (FERRAZ, 2010).

A remoção de nitrogênio amoniacoal por *stripping* com injeção de ar consiste na elevação do pH do meio para valores próximos ou superiores a 11, de modo que esse favoreça a transformação do íon amônio em amônia livre. A alcalinização do meio é feita antes do *stripping*, normalmente pela adição de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), hidróxido de sódio (NaOH), entre outros. O $\text{Ca}(\text{OH})_2$ é comumente usado para o ajuste de pH devido seu baixo custo (RODRIGUES, 2004, MARTTINEN et al., 2002; LEITE et al., 2007 apud SANTANA-SILVA, 2008).

2.2.3. Tratamento de lixiviado por air stripping

Devido à significativa eficiência do processo e o fato de ser uma tecnologia de baixo custo, comparada aos demais métodos de tratamento, pesquisadores brasileiros foram motivados a avaliar a resposta do *air stripping* para o lixiviado de aterros sanitários do Brasil (FERRAZ, F. M., 2010).

Leite et al. (2009) aplicaram o *air stripping* em torres de 35,30 L no tratamento de 10 L de lixiviado. Nas condições de pH 11 e aeração de $6,30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pelo período de 7 h, a remoção de amônia foi superior a 90 %.

Campos et al. (2007) avaliaram a remoção de amônia do lixiviado por meio de *air stripping* para pH 7,8 e 11, e temperaturas de 25 °C e 65 °C. Os autores concluíram que a melhor condição foi aquela com pH 7,8 e 65 °C, havendo remoção de 96 % da amônia, ao passo que para pH 11 e 25 °C a eficiência foi bastante inferior, 27,6 %. Esse experimento foi avaliado em béquer de 2 L e a aeração, cuja taxa não foi informada, deu-se por meio de aeradores de aquários.

2.2.4.

Torres de air stripping

Uma torre de arraste com recheio é essencialmente um cilindro preenchido com um material que oferece uma elevada superfície específica. A fase líquida é distribuída sobre o recheio, e passa através dele num processo de gotejamento (em inglês, *trickling*), maximizando a área de contato com o escoamento de gás e a turbulência no interior da fase líquida (SOUTO, 2009).

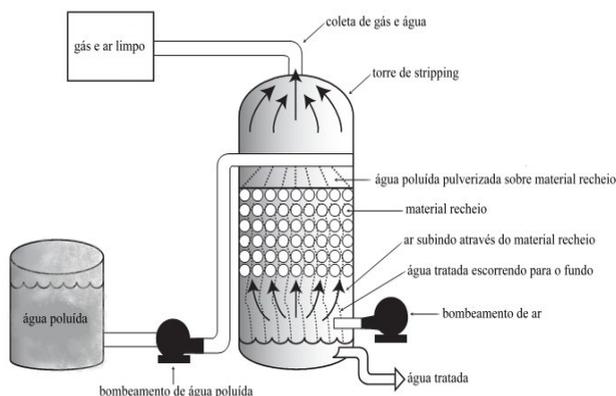


Figura 2- Funcionamento de uma torre de *air stripping*.

Fonte: Adaptado de EPA (2001)

A técnica de *air stripping* em torres ou em reatores vem sendo amplamente utilizado como uma alternativa para remover nitrogênio amoniacal. No Brasil, muitas destas pesquisas foram desenvolvidas através do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) e são descritas por Leite (2007) e SANTANA-SILVA (2008).

2.3. Alcalinização Prévia

A alcalinização prévia consiste na adição de compostos químicos com característica alcalina ao efluente com o intuito de elevar o pH até níveis em que possa ser possível a remoção da amônia. Esta técnica simples pode ser empregada conjuntamente à técnica de *air stripping*, pois se trata de uma complementação.

A adição de compostos alcalinizantes ao lixiviado foi estudada também por alguns autores como Ferraz (2010), Souto (2009) e Santana-Silva (2008). Todos os autores observaram que a adição de compostos alcalinizantes pode também, além de favorecer o processo de *air stripping*, auxiliar na remoção de sólidos deste tipo de efluente.

Observou-se na pesquisa bibliográfica, que havia demanda por estudos que avaliassem também outros produtos químicos com este potencial, além da questão dos custos envolvidos neste processo, e as suas interações com outros parâmetros que poderiam ser alterados com a adição dos produtos químicos.

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta e preservação das amostras

As amostras de lixiviado foram coletadas no aterro sanitário de Biguaçu/SC (Figura 3), mais especificamente na lagoa de equalização, e transportadas por empresa especializada através de caminhão pipa, sendo disposta em um reservatório de 5000 litros nas instalações do Laboratório de Experimentação do Departamento de Engenharia Sanitária, nos fundos do Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina. O lixiviado ficou armazenado no tanque até os dias dos ensaios. Como o objetivo deste estudo não foi a caracterização do lixiviado, não se teve a preocupação de realizar as coletas antes de cada ensaio, mas foram realizadas análises físico-químicas das amostras antes, durante e no final de cada bateria de ensaios.

Para os ensaios de alcalinização foram retirados do reservatório cerca de 5 litros de lixiviado para cada bateria de testes.



Figura 3 - Aterro Sanitário de Biguaçu/SC
Fonte: Proactiva.

3.2. Aparato experimental

O estudo foi desenvolvido em uma unidade piloto de *air stripping* e recuperação de amônia montada nas instalações do LARESO, nos fundos do Hospital Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina. O piloto é uma torre de *air stripping* com coluna de 2 metros de altura e diâmetro de 150 mm, construída com peças de tubulação de PVC linha esgoto. O fundo foi fechado com Tê sanitário de 150 x 100 mm, e a parte inferior com CAP de mesmo diâmetro da coluna onde adaptou-se um espigão metálico para servir de saída do lixiviado após tratamento. O lixiviado retorna para um reservatório de plástico de onde é novamente bombeado para a parte superior da torre (recirculação).

A extremidade lateral é fechada com CAP de 100 mm, também adaptado com espigão metálico onde foi introduzida a mangueira de um compressor de ar. A parte superior da torre é composta por um CAP de 150 mm adaptado com um chuveiro que serve como distribuidor do lixiviado bruto. A Figura 4 abaixo ilustra o aparato experimental.



Figura 4 - Esquema do aparato experimental.

A torre foi recheada até uma altura de 1,95m com anéis do tipo Raschig, manufaturados a partir de conduítes plásticos encontrados facilmente em lojas de materiais de construção. O material escolhido possui diâmetro externo de 30 mm e interno de 25 mm, e foram cortados em pedaços com aproximadamente 5 cm de comprimento (figura 5).



Figura 5 - Recheio da torre de *air stripping*.

3.3. Local do estudo

Os ensaios de *air stripping* foram realizados no Laboratório de Experimentação em Resíduos Sólidos, pertencente ao Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos (LARESO), localizado no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na cidade de Florianópolis/SC. Os ensaios de alcalinização e as análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), nas dependências do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), igualmente localizado no Campus da UFSC.

3.4. Métodos analíticos

O procedimento das análises físico-químicas foi determinado segundo os métodos padrões usualmente utilizados na literatura, descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), com a finalidade de obter precisão e confiabilidade nos valores mensurados. A Tabela 1 detalha os parâmetros e métodos que foram utilizados nas análises realizadas neste trabalho para a caracterização das amostras nos ensaios de alcalinização e nos ensaios de *air stripping*. As amostras foram caracterizadas e analisadas no mesmo dia da coleta e dos ensaios.

Tabela 1 – Parâmetros, métodos e frequência das análises.

Parâmetro	Método
pH	pHmetro
Alcalinidade [mg/L]	Titulométrico
Condutividade [μ S/cm]	Condutímetro
DQOtotal [mg O/L]	Colorimétrico - Refluxo Fechado
Nitrogênio amoniacal [mg NH ₃ /L]	Colorimétrico
Sólidos totais [mg/L]	Gravimétrico
Sólidos fixos [mg/L]	
Sólidos voláteis [mg/L]	
Sólidos sedimentáveis [mg/L]	Gravimétrico (cone Imhoff)
Cor [UC]	Colorimétrico
Turbidez [NTU]	Nefelométrico

Foram realizados ensaios de *air stripping* com lixiviado alcalinizado com pH próximo a 12. As concentrações de nitrogênio amoniacal foram analisadas para avaliar a remoção de amônia durante os ensaios. Foram realizados 2 ensaios de *air stripping*, com dois alcalinizantes diferentes.

3.5. Alcalinização do lixiviado

Para ajustar o pH do lixiviado foram usados 3 tipos de alcalinizantes: hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) – padrão analítico (P.A) -, cujo teor de pureza era de 95 %; cal comercial, também denominada cal hidratada, do tipo CH-III; e hidróxido de sódio (NaOH) – padrão analítico (PA).

As cales comerciais são classificadas em CH – I, CH – II e CH – III, de acordo com seu grau de pureza, onde III seria o menor deles (INMETRO, 2004). No entanto, a marca utilizada nos ensaios informa na embalagem que o grau de pureza é de 100%.

Para o procedimento de alcalinização, o volume de 1 L de lixiviado foi transferido a um béquer, sob agitação constante e monitoramento de pH. Em seguida, pesou-se pequenas quantidades do alcalinizante e adicionou-se em porções menores ao lixiviado até que o pH fosse ajustado para valores próximos a 12. Obteve-se assim a

quantidade necessária para alcalinizar um volume de 1 L de lixiviado. A partir deste valor, por regra de três simples, calculou-se a massa necessária de alcalinizante para elevar o pH de um volume maior de lixiviado, que seria usado na torre recheada.

Em pH próximo a 9,5 pequenas adições de alcalinizante eram suficiente para causar alterações bruscas no pH por isso não foi estabelecido um valor fixo para elevação do pH. Souto (2009) e Ferraz (2010) também observaram esta mudança brusca no pH.

3.6. Análise do lodo gerado

Com a alcalinização do lixiviado bruto gerou-se uma quantidade expressiva de lodo. Para que fosse determinado o volume e a composição de sólidos, foram analisados os sólidos totais, fixos, voláteis e sedimentáveis em cada ensaio de alcalinização.

Para a determinação do volume de lodo gerado foi utilizado um cone de Imhoff onde o lixiviado alcalinizado sofreu sedimentação por uma hora. O volume de lodo foi medido diretamente no cone, que correspondia aos sólidos sedimentáveis. Após a sedimentação, separou-se o sobrenadante e lodo foi transferido a um cadinho onde se dava seqüência ao roteiro para determinação dos sólidos totais, fixos e voláteis.

3.7. Ensaio de *air stripping*

Para cada ensaio de *air stripping* foram utilizados 18 litros do sobrenadante resultante da alcalinização do lixiviado, separando-se assim o lodo. Foram testados apenas os dois melhores alcalinizantes, sendo descartado o alcalinizante que apresentou o pior desempenho.

Foram realizados os dois ensaios na mesma condição operacional, ou seja, com as mesmas vazões de ar e lixiviado, para que os resultados pudessem ser comparados. A vazão de ar aplicada foi de 1.600 L/h e a vazão de lixiviado de 18 L/h, sendo a relação Qar/Qlix de 89.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do Lixiviado

No estudo realizado foram coletadas amostras de lixiviado bruto, armazenado em um reservatório no Laboratório de Experimentação em Resíduos Sólidos provindo do Aterro Sanitário de Biguaçu/SC. Foram analisadas 3 amostras de lixiviado que foram denominadas de Análise 1, 2 e 3 (Tabela 2). Estas amostras apresentaram semelhanças em alguns parâmetros quando comparadas com a caracterização realizada por Máximo (2007) do lixiviado produzido pelo mesmo aterro. No entanto, esta comparação é limitada ao fato de que neste estudo a amostra não foi coletada e imediatamente analisada, ela permaneceu armazenada em um reservatório, e com isso pode ter ocorrido à sedimentação de sólidos, além de degradação biológica de alguns compostos devido ao período de armazenamento entre a coleta e a realização das análises.

Tabela 2 – Características físico-químicas do lixiviado bruto

Parâmetros avaliados	Unidades	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Mínimo	Máximo
pH		8,13	8,7	8,45	8,43	8,13	8,7
Condutividade	mS/cm	17,89	17,6		17,75	17,6	17,89
DQO	mg/L	4654,25	5934,3		5294,28	4654,25	5934,3
Cor	U.C	3700	2100	1915	2571,67	1915	3700
Turbidez	N.T.U	259	185	175	206,33	175	259
NAT	mg/L	1302,5	1612	1580	1498,17	1302,5	1612
NTK	mg/L	1764	1890	1813	1822,33	1764	1890
ST	mg/L	764,2	1318	712	931,40	712	1318
SVT	mg/L	294,4	426	225	315,13	225	426
SFT	mg/L	469,8	892	487	616,27	469,8	892
Ssed	mL/L	2	0	1	1,00	0	2

Observa-se nesta caracterização que 83 % do Nitrogênio Total se refere à parcela de Nitrogênio amoniacal, portanto bastante elevada. Comentar sobre o valor de cor e turbidez, se o valor é alto ou baixo em relação a outros lixiviados. Em relação aos sólidos totais, a maior

parcela se constitui dos sólidos fixos, revelando a baixa biodegradabilidade do lixiviado.

4.2. Alcalinização Prévia

Os alcalinizantes utilizados nos ensaios foram o Hidróxido de Cálcio P.A, Cal hidratada comercial e Hidróxido de Sódio P.A. Foram realizados dois ensaios de alcalinização, com amostras de lixiviado coletadas em dias diferentes. A figura 6 ilustra o procedimento utilizado nos ensaios de alcalinização.



Figura 6 - Ensaio de Alcalinização

4.2.1. *Remoção de cor e turbidez*

O parâmetro cor é de grande importância nos estudos de tratamento de lixiviado, principalmente quando se trata da poluição devido ao descarte em corpos hídricos ou da eficiência de métodos biológicos (lagoas), uma vez que no Brasil esses ainda são os mais utilizados (SANTANA-SILVA, 2008).

Um sistema biológico de tratamento necessita de luz para que os processos metabólicos se desenvolvam. A cor no lixiviado impossibilita essa absorção de luz pelo meio tornando mais difícil a degradação da matéria orgânica já que para isto necessita-se de oxigênio que é um produto da fotossíntese destas bactérias. Os sólidos dissolvidos são responsáveis pela intensidade da cor no lixiviado dos aterros sanitários.

A redução da turbidez no lixiviado indica que foram removidos sólidos em suspensão que também contribuem para a cor deste efluente, indicando a eficiência do método de precipitação química.

A tabela 3 apresenta os resultados das análises destes dois parâmetros para a amostra de lixiviado bruto e após a adição dos alcalinizantes.

Tabela 3– Remoções de cor e turbidez

Parâmetro	Unidades	Lix. Bruto	Ca(OH) ₂	Cal hidra.	NaOH
Cor	U.C	2.100	210	280	630
Turbidez	NTU	185	3,75	21,4	56,1

A figura 7 apresenta os percentuais de remoção de cor e turbidez obtidos com a alcalinização do lixiviado. Observa-se o bom desempenho dos três compostos com relação à remoção dos dois parâmetros, sendo o hidróxido de cálcio P.A o que apresentou a maior remoção tanto de turbidez quanto de cor.

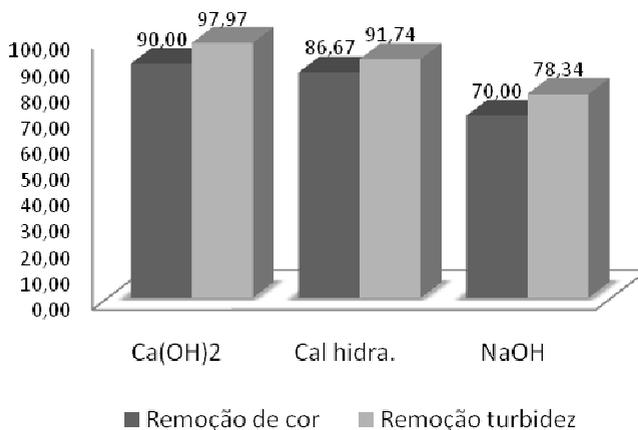


Figura 7 - Remoções de cor e turbidez

4.2.2.

Geração de Lodo

Para determinar o volume de lodo gerado com a adição dos alcalinizantes o lixiviado foi colocado em cones Imhoff e após um período de 1h era efetuada a leitura visual (Figura 8).



Figura 8 – Ensaio de Sedimentação. Cone 1 (hidróxido de cálcio), Cone 2 (cal hidratada) e Cone 3 (hidróxido de sódio)

O Ca(OH)_2 foi o alcalinizante que mais promoveu a formação de lodo gerando cerca de 575 ml/L. Já o NaOH foi o que menos promoveu a sedimentação de sólidos, gerando o menor volume de lodo, 52 ml/L. Como pode ser observado também na figura 8, a adição de NaOH não promoveu remoção significativa de cor aparente.

A geração de lodo é importante na avaliação desta técnica, pois a aplicação em escala real poderia ser dificultada devido ao excesso de lodo gerado e ao trabalho ocasionado aos operadores para o transporte deste lodo da ETE ao aterro propriamente dito. No entanto, o volume representa a quantidade de sólidos sedimentados somado a uma porção de água. Por isso foi determinada, além do volume, a massa seca de lodo, após permanecer por 48 h em estufa a 105 °C. A massa seca resultante dos ensaios com Ca(OH)_2 , cal hidra., e NaOH foram 86,843g, 91,841g e 2,324g, respectivamente.

4.2.3.

Custo da alcalinização

O custo envolvido nesta etapa está relacionado ao gasto com reagente. Em escala real, também devem ser contabilizados os gastos operacionais e de energia elétrica, pois seria necessária a agitação mecânica para promover a mistura do reagente ao lixiviado. A tabela 4 apresenta o preço e o gasto com cada reagente para alcalinizar 1 L de lixiviado.

Tabela 4 – Custo da alcalinização

Custo da alcalinização	Unidade	Ca(OH)₂	Cal hidra.	NaOH
Quantidade de reagente	g	78,0000	76,8000	10,6200
Preço do reagente	R\$/g	0,038	0,000335	0,0168
Gasto	R\$/L	2,96	0,03	0,18

A quantidade de reagente necessária para alcalinizar um volume pré-definido varia de acordo com o pH inicial do lixiviado e também o pH final que se deseja alcançar. Também varia, conforme observa-se na tabela 4, com a espécie química utilizada como alcalinizante. Em relação a quantidade de reagente utilizada, bem como o gasto, em reais, para alcalinizar 1 litro de lixiviado, percebe-se que o hidróxido de cálcio P.A apresentou o pior desempenho.

Os dois alcalinizantes que apresentaram os melhores desempenhos foram usados na etapa seguinte. O hidróxido de cálcio P.A foi descartado.

4.3. Ensaio de *Air Stripping*

Foram realizados dois ensaios de *air stripping*, aplicando lixiviado previamente alcalinizado em torre recheada aerada, ambos em regime de batelada. Os parâmetros pH, condutividade, DQO e Nitrogênio Amoniacal Total foram analisados durante as bateladas e os parâmetros cor, turbidez e NTK foram analisados somente no início e final das bateladas. Os resultados serão apresentados e discutidos em relação aos parâmetros analisados.

4.3.1.

pH e Nitrogênio Amoniacal Total

Nos dois ensaios observou-se o decaimento do pH ao longo dos dias, chegando até valores próximos a 9,25 que é o valor em que a concentração de amônia livre se iguala a concentração de íon amônio presente no lixiviado.

Tanto no ensaio com uso de cal hidratada quanto no ensaio com hidróxido de sódio P.A, em 10 dias, a concentração de Nitrogênio Amoniacal Total foi reduzida a valores aceitáveis pela Resolução CONAMA vigente, o que indica eficiência do método.

Souto (2009) avaliou a remoção de amônia em torres recheadas aeradas de 1,40 m de altura e 150 mm de diâmetro, operadas com vazão de ar de 3600 L/h e vazão de líquido de 18 L/h, ou seja, uma relação Qar/Qlix de 200. Foram obtidas remoções praticamente completas de amônia em apenas 6 dias para um experimento semelhante, também com uso de cal hidratada. A vazão de ar utilizada neste ensaio foi de 1600 L/h e a vazão de lixiviado de 18L/h, o que pode ter sido determinante para o aumento do tempo necessário até que se observasse a concentração necessária de Nitrogênio Amoniacal Total para finalizar o ensaio, ou seja, concentrações inferiores a 20 mg/L. Ferraz (2010) obteve remoções de amônia de 99% em 12 dias em ensaios com uso de cal hidratada, mas com relações Qar/Qlix menores que a relação usada neste estudo.

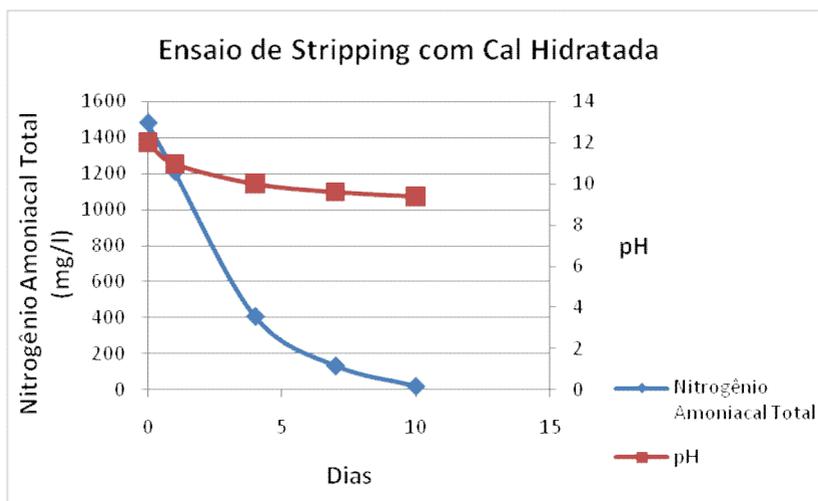


Figura 9- pH e Nitrogênio Amoniacal Total ao longo do ensaio de *air stripping* com alcalinização prévia com Cal Hidratada

O uso de NaOH P.A também favoreceu a remoção de amônia na torre de *air stripping*. No entanto, observa-se na figura 10 que o decaimento da concentração de amônia ocorreu mais lentamente, sendo que no 4º dia a concentração era de aproximadamente 604 mg/L e no ensaio com uso de cal hidratada a concentração no 4º dia era de 406 mg/L.

É importante ressaltar esta diferença, pois um dos gargalos do processo de *air stripping* é justamente o tempo necessário para promover remoções significativas de Nitrogênio Amoniacal Total e assim poder aplicá-lo em escala real, no tratamento de lixiviados. Neste caso, por exemplo, se a etapa de *air stripping* fosse realmente um pré-tratamento, ou seja, não precisasse produzir um efluente com concentração final dentro do limite exigido de 20 mg/L, mas um efluente com concentração de Nitrogênio Amoniacal Total em que fosse possível um tratamento biológico posteriormente à etapa de *air stripping*, seria mais vantajoso utilizar a cal hidratada.

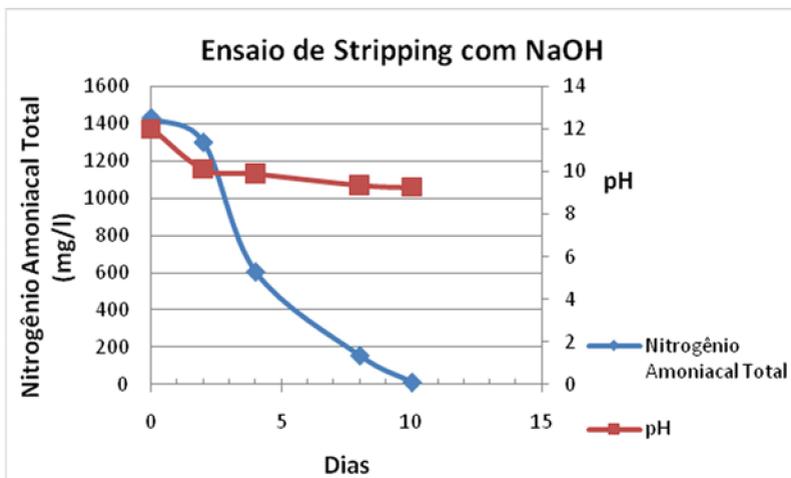


Figura 10- pH e Nitrogênio Amoniacal Total ao longo do ensaio de *air stripping* com alcalinização prévia com NaOH.

4.3.2.

DQO

Nos dois ensaios onde aplicou-se a técnica de *air stripping* em lixiviado previamente alcalinizado, houve redução da concentração de DQO ao longo do período de 10 dias em que foram realizados os ensaios. A tabela 5 apresenta as concentrações de DQO nos dois ensaios realizados, no lixiviado bruto utilizado em cada ensaio, bem como após a adição dos alcalinizantes e da aplicação do *air stripping*.

Tabela 5 – Concentrações de DQO antes da alcalinização, após a alcalinização e após o *air stripping*.

Ensaio	Unidade	Lix. Bruto	Após alcalinização	Após <i>air stripping</i>
I - Cal hidratada	mg/L	5934,3	4680	3600
II - hidróxido de sódio	mg/L	5832,7	5086	2989

Em termos percentuais, a remoção de DQO pode ser considerada significativa, sendo que no ensaio com lixiviado alcalinizado com cal hidratada houve remoção de 21% após a etapa de alcalinização e de 23% após 10 dias de recirculação na torre de *air stripping*. No ensaio onde o alcalinizante foi o hidróxido de sódio, a remoção foi de 13% após a etapa de alcalinização e 41% após a aplicação do processo de *air stripping*.

A remoção de DQO também foi observada nos estudos realizados por Ferraz (2010), que obteve com a aplicação de cal hidratada como alcalinizante, uma redução de 51% após 12 dias de ensaio em torre de *air stripping*.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho foi verificada a eficiência de remoção de amônia aplicando-se o método de *air stripping* em lixiviado previamente alcalinizado.

Foram primeiramente avaliados três compostos químicos com potencial alcalinizante: hidróxido de cálcio P. A, cal hidratada comercial tipo CH III, e hidróxido de sódio P. A. Todos apresentaram capacidade de elevar o pH do lixiviado, no entanto, o hidróxido de cálcio P. A. apresentou o pior desempenho em relação ao consumo de reagente, custo do reagente e geração de lodo.

O alcalinizante que apresentou o melhor desempenho considerando o custo com reagente e a eficiência de remoção de parâmetros como cor e turbidez do lixiviado foi a cal hidratada.

A alcalinização prévia à etapa de *air stripping* mostrou-se bastante eficiente, pois além de diminuir o tempo necessário para remover concentrações significativas de amônia, também foi eficiente na remoção de outros parâmetros como cor, turbidez e também DQO.

Com relação à etapa de *air stripping*, percebeu-se que o método é bastante eficiente em se tratando da remoção da amônia que é uma grande dificuldade no tratamento deste tipo de efluente devido a elevadas concentrações que podem passar de 2 g/L, fazendo da amônia uma substância potencialmente tóxica a biota dos corpos hídricos receptores. A eficiência de remoção da amônia chegou a 84% e a concentração ficou inferior aos 20 mg/l estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/05.

Com a utilização do método de *air stripping* é possível reduzir a carga de Nitrogênio Amoniacal Total no próprio aterro sanitário como pré-tratamento facilitando assim um pós-tratamento através de métodos biológicos por exemplo. Estudos vêm sendo realizados para o aproveitamento da amônia destes processos para utilização como fertilizante. Mesmo gerando certo volume de lodo este tratamento é de custo baixo e o lodo excedente pode ser disposto no próprio local do aterro já que este mesmo não apresenta um grau de periculosidade.

Recomenda-se, em pesquisas futuras, a avaliação de outros materiais de recheio que possam ser usados nas torres de *air stripping* afim de elevar a eficiência do método, além do aprofundamento das questões relacionadas a vazões de ar e lixiviado aplicadas, e a influência delas sobre todos os parâmetros, não só em relação a amônia, já que a

introdução de ar torna o ambiente propício a degradação aeróbia da matéria orgânica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil, Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-8419. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-8849. **Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos**, 1985.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, 2005

BAHÉ, J. M. C. F. **Estudo da evaporação de lixiviados de aterros sanitários como alternativa tecnológica de tratamento: testes em bancada**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2008, 91 p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Produção de Líquidos Percolados e Biogás em Aterros Sanitários**. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo, n. 12, p. 28-33, 1991.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos**. In: CASTILHOS JUNIOR, 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. Florianópolis: ABES, 2003. Cap. 2, p. 19 - 50. Projeto PROSAB

CASTRO RODRIGUES, M., **Tratamento eletrolítico de lixiviado de aterro sanitário**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2007, 109 p.

FIRMO, A. L. B. (2006). **Análise comportamental de Parâmetros físico-químicos e geração de gás numa célula experimental no Aterro da Muribeca-Pe**. Monografia de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 70 p.

Instituto Nacional de Normalização, Metrologia e Qualidade Industrial (INMETRO). **Cal hidratada**, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/calhidratada.asp>>. Acesso em: novembro/2010.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T. **Estudo do processo de stripping de amônia de lixiviado de aterro sanitário**. In: XIII SILUBESA, 2008, Belém. Anais do XIII SILUBESA. Belém, 2008. v. u. p. 1-5.

LIMA, C. A. A., MUCHA, M. S.; TELES, R. B.; CUNHA, R.. **Estudos preliminares de estimativa de produção de chorume e avaliação de alternativas de tratamento – Estudo de caso: novo Aterro de Ribeirão Preto-SP**. In: *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande-MS. 2005, p.1-8.

MARTINEZ RODRIGUEZ, R. **Estudo Teórico e Experimental de Agregados Iônicos (NH₃) nNH_m ± Dessorvidos da Amônia Sólida Bombardeada por Íons de 65 MeV**. Tese de Doutorado – Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007, p. 1-10.

MÁXIMO, V. A. **Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis**. Dissertação de mestrado -Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2007. 187 p.

MIERZWA, J. C. & HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2008). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 397, 03 de abril de 2008,

altera o inciso II do § 4º e a Tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA nº 357, de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 de abril de 2008. Seção 1, p. 68.

Ministério do Trabalho e Emprego (1978). Secretaria de inspeção do Trabalho. Portaria n.º 3.214, 08 de junho de 1978.

METCALF & EDDY. **Wasterwater engineering: treatment, disposal and reuse**. Metcalf & Eddy, Inc. 3 Ed., 1991, 1.334p.

METCALF E EDDY. **Waste engineering: Treatment and reuse**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003, 1819 p.

QASIM, S.R. e CHIANG, W. **Sanitary Landfill Leachate – Generation, Control and Treatment**. Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc., 1994. 339 p.

RITA, F. **Desempenho de um reator UASB em escala piloto para o tratamento anaeróbio de líquidos percolados de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, p. 1-49, 2002.

SANTANA-SILVA, F. M. **Avaliação do método de precipitação química associado ao stripping de amônia no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca-PE**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2008. 117 p.

SILVA, A. C. **Tratamento de percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade de efluente bruto e tratado**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2002.

SOUTO, G. D. B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. Tese Doutorado – Programa de Pós-Graduação. Área de

concentração em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. 371 p.

SOUZA, G.. Monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos de líquidos percolados de aterros sanitários: estudo em piloto experimental. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 1-30, 2005.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S. A. Integrated solid waste management – engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill, 1993 978 p.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Process design manual for nitrogen control. US. Environmental Protection Agency – Technology Transfer, 1975.