



### III-345 – TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS ATRAVÉS DE *STRIPPING* DA AMÔNIA UTILIZANDO REATOR DE CHICANAS

**Marcelo Oliveira Caetano<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, Engenheiro de Segurança do Trabalho e Mestre em Engenharia Civil: Gerenciamento de Resíduos pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Consultor em Gestão da Qualidade, Meio Ambiente e Segurança do Trabalho, funcionário da empresa Projeconsult Engenharia Ltda e pesquisador da UNISINOS.

**Luis Alcides Schiavo Miranda**

Químico Industrial, Doutor em Ciências área de Biotecnologia Ambiental e Pós-Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, professor assistente II da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

**Luciana Paulo Gomes**

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Engenharia Civil, Área de Hidráulica e Saneamento, professora titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), onde é pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Atua na área de Gerenciamento de Resíduos e Gestão Ambiental. Coordenadora do Sistema de Gestão Ambiental da Unisinos, Universidade Certificada ISO 14001.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Unisinos, 950. São Leopoldo - RS - Brasil. CEP: 93022-000 - Tel: (51) 35908464 - e-mail: [lugomes@unisinos.br](mailto:lugomes@unisinos.br)

#### RESUMO

Em lixiviados de Aterros Sanitários (LAS), o nitrogênio amoniacal (NA) pode alcançar concentrações superiores a 2000 mg/L e, se disposto no meio ambiente sob estas concentrações, pode causar severos impactos ambientais e à saúde pública. Entre as alternativas para remoção de NA de lixiviados, o processo de “stripping” é um dos métodos utilizados mundialmente e que se destaca tecnicamente. O objetivo deste trabalho foi o estudo da remoção de amônia por “stripping” do lixiviado proveniente do Aterro Sanitário de São Leopoldo/RS, utilizando um processo físico de tratamento. O estudo foi desenvolvido através de ensaios de batelada em Reator de Chicanas (RC) precedidos por ensaios de bancada que empregaram Teste de Jarros. As variáveis testadas para o monitoramento do experimento foram: concentração inicial de NA e vazão de recirculação de lixiviado; sendo realizadas amostragens e análises físico-químicas dos seguintes parâmetros: pH, DQO, temperatura, série de nitrogênio, série de sólidos, alcalinidade, nitrito e nitrato para verificação da eficiência do sistema. Em nenhum dos ensaios foi promovido a alteração do pH e/ou temperatura do lixiviado. Os resultados mostraram, para um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 dias, uma remoção de NA variando de 6 a 73%, porém não sendo suficiente para o atendimento dos padrões nacionais legislativos de emissão de efluentes em recursos hídricos. O parâmetro “temperatura”, estatisticamente, mostrou influenciar na remoção de NA, sendo obtidos maiores remoções para temperaturas ambiente superiores a 21°C. Pelos resultados obtidos, o RC se mostrou ser uma opção viável tecnicamente para tratamento de LAS, como um processo físico para remoção de amônia por “stripping”, podendo ser indicado como um pré-tratamento aos sistemas biológicos. Para as condições avaliadas nesta pesquisa, conclui-se que, com TDH igual a 12 dias, em temperaturas superiores a 21°C a melhor opção técnica-ambiental de tratamento de LAS é a utilização de vazão de recirculação de lixiviado de 1,7 m³/h independentemente da concentração inicial da NA. Já para temperaturas inferiores a 21°C, o melhor desempenho do RC ocorreu com NA inicial menor do que 600 mg/L, sem que a vazão de recirculação de lixiviado tenha indicado qualquer interferência, ou seja, para baixas temperaturas apenas um TDH maior no sistema resultará em melhor resultados, sem a necessidade de gastos com energia para a recirculação do efluente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Disposição e Tratamento de Resíduos, Lixiviados, “Stripping”, Reator de Chicanas.

#### INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é um fator fundamental na manutenção dos ecossistemas terrestres, sendo não somente uma questão ambiental, mas também de saúde pública. Em relação a isto, percebe-se uma tendência mundial que denuncia o aumento da geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU) nos próximos anos. Esta



constatação está relacionada a fatores que influenciam na quantidade e qualidade do RSU: desde questões culturais, sociais e econômicas de uma localidade até quantidade de habitantes e composição do resíduo gerado.

Existem diversos métodos de tratamento e disposição final de RSU, entre estes: Aterros Controlados, Compostagem, Reciclagem, Incineração, Aterros Sanitários. Segundo a pesquisa comparativa, levando em consideração diversos tipos de tratamento e destinação de RSU, realizada por RENO *et al.* (2008), o Aterro Sanitário resultou no método com maiores vantagens econômicas e ambientais. Outros autores como: SANTOS (1994), CHERNICHARO *et al.* (2003), BURTON & WATSON-CRAIK (1998) e JUCÁ (2003); citam o Aterro Sanitário como a forma de disposição de resíduos mais utilizado no mundo, sendo considerados tecnicamente e ambientalmente seguro. Porém, para ser assim considerado, os Aterros Sanitários devem ser adequadamente operados, incluindo o monitoramento e tratamento dos produtos gerados pelo processo (lixiviados e gases), de forma a atender aos padrões de emissão estabelecidos pela legislação.

No entanto, autores como FLECK (2003), LANGE *et al.* (2002), JUCÁ (2003), CASTILHOS JÚNIOR *et al.* (2006), PESSIN *et al.* (2002); citam que na maioria dos municípios do Brasil não há projetos, implantação e operação de Aterros Sanitários que sejam eficientes e atendam as normas e legislações nacionais. Isto traduz uma grave contaminação ambiental de recursos hídricos, solo e atmosfera devido o lançamento de lixiviados e gases de aterro no ecossistema sem prévio tratamento. Em relação a estes produtos gerados, o lixiviado merece uma atenção especial devido a sua toxicidade e risco de contaminação ao meio ambiente e à saúde humana. Segundo TILLMAN (2003), AZIZ *et al.* (2004), SILVA *et al.* (2006), FERREIRA *et al.* (2006), FLECK (2003), BOFF (2005) e CHERNICHARO *et al.* (2003); a qualidade e quantidade do lixiviado varia de aterro para aterro de acordo com características como: composição, umidade, densidade e natureza dos RSU, além de condições climáticas e composição do solo. O resultado de todas estas variáveis é um líquido escuro com composição química que, frequentemente, de acordo com LEITE *et al.* (2006), RODRIGUES FILHO *et al.* (2006), FERNANDES *et al.* (2006) e AZIZ *et al.* (2004), apresenta elevada carga orgânica e de nitrogênio amoniacal.

Em relação ao nitrogênio amoniacal, parâmetro de interesse deste estudo, em altas concentrações este: (1) é o principal causador do processo de eutrofização das águas, influenciando na qualidade das águas e vida aquática; (2) é tóxico a peixes e à saúde da população, podendo ocasionar doenças que afetam o sistema nervoso central, respiratório e digestivo dos seres humanos e (3) pode inibir o processo de tratamento biológico de efluentes, afetando a eficácia do sistema (FLECK, 2003; WEF & ASCE/EWRI, 2005; AZIZ *et al.*, 2004; SILVA *et al.*, 2006; ZONATELLI, 2002; entre outros).

Devido a todos estes fatores surge a necessidade de técnicas apuradas para o tratamento de lixiviados proveniente de Aterros Sanitários (LAS). Neste sentido, a maioria das instalações de tratamento de LAS atualmente projetadas leva em consideração parâmetros definidos para tratamento de esgotos sanitários. Porém, na prática, devido a grande diferença entre esses efluentes, principalmente, em relação à composição, vazão e biodegradabilidade; verifica-se uma baixa eficiência de remoção dos parâmetros, principalmente nitrogênio amoniacal, com conseqüente não atendimento à Legislação Nacional.

Em relação a isto, IAMAMOTO (2006), AZIZ *et al.* (2004) e MOREIRA *et al.* (2006) citam que a remoção de nitrogênio de efluentes como o LAS, pode ser realizado por processos físicos, químicos, biológicos e/ou por uma combinação destes. Devido a dificuldade da redução da carga nitrogenada, a maioria destes processos são muito caros, pois utilizam equipamentos e quantidade elevada de recursos naturais como energia e produtos químicos (tratamento biológico aeróbio, lodos ativados, processos de membrana, adsorção, oxidação química, “stripping” da amônia, coagulação-floculação). Embora esta situação, os sistemas de remoção de nitrogênio mais utilizados mundialmente são a nitrificação/desnitrificação e o “stripping” da amônia, sendo este último um processo bastante eficiente de remoção de carga nitrogenada podendo alcançar valores superiores a 90% (MARTTINEN *et al.*, 2002; RENO *et al.*, 2008 e MARTTINEN *et al.*, 2002).

Assim, o grande desafio dos pesquisadores em termos de remoção de nitrogênio presente em lixiviados proveniente de Aterros Sanitários é a busca por uma forma eficiente de tratamento, com custos construtivos e operacionais viáveis, com a minimização do uso de recursos naturais não renováveis e a conseqüente redução de prováveis impactos e passivos ambientais.



O objetivo deste trabalho foi estudar a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal do lixiviado proveniente dos Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos do município de São Leopoldo no Rio Grande do Sul, utilizando reator de chicanas como processo físico de tratamento (“stripping”). Foi avaliada a influência da concentração inicial de nitrogênio amoniacal e vazão de recirculação de lixiviado no processo de remoção, além das variáveis temperatura e precipitação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### PRIMEIRA ETAPA: ORIGEM DO LIXIVIADO

Os RSU gerados e coletados no município de São Leopoldo são levados para uma Central de Triagem onde é realizada a separação dos resíduos recicláveis. A composição destes resíduos é distribuída de: 72% restos de alimentos, 10% plástico, 2% papel, 2% metal, 2% vidro, 12% outros.

Todo o LAS gerado nos aterros sanitários e controlado de São Leopoldo são enviados para uma Estação de Tratamento (ETLix) localizada na própria central. Atualmente, para tratamento destes lixiviados, é utilizado tratamento biológico realizado por lagoas de estabilização. Este processo de tratamento possui um custo relativamente baixo, de fácil operação, sendo um dos meios mais usuais no país. Porém, a desvantagem, é a ocupação de uma grande área territorial equivalente em São Leopoldo a, aproximadamente, 7.900 m<sup>2</sup>.

A cada coleta de lixiviado para os ensaios experimentais na Unisinos, também foram coletadas amostras da entrada e saída da ETLix visando o acompanhamento do tratamento e posterior comparação com as unidades de pesquisa.

### SEGUNDA ETAPA: MONTAGEM DA UNIDADE EXPERIMENTAL

Para realização da pesquisa foi construída uma unidade experimental localizada no Laboratório de Microbiologia de Resíduos - Anexo II, situado na Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), para o tratamento do lixiviado proveniente do aterro sanitário de São Leopoldo.

A unidade experimental foi composta de um reator de chicanas (RC) construído com paredes de tijolo maciço e piso de concreto armado. As dimensões internas do reator são de 10 (dez) metros de comprimento, 1 (um) metro de largura e 0,5 metros de profundidade, com volume útil de 5m<sup>3</sup>.

Internamente o reator possui 22 partes móveis (chicanas), dispostas transversalmente ao sentido do comprimento do reator, confeccionadas em polietileno de 6 mm de espessura, com dimensões de 0,50 x 1,00 m e com borda vazada de 10 x 10 cm, a qual servirá para passagem do efluente.

Os ensaios do RC foram realizados em bateladas, precedidos de ensaios experimentais preliminares em escala de bancada, utilizando-se um equipamento para Teste de Jarros (*Jar Test*), visando simular a operação do RC. As variáveis estudadas e os parâmetros de monitoramento destes ensaios estão a seguir descritos:

- Ensaios de Bancada (Teste de Jarros) - com e sem aeração e variação na concentração de alcalinizante adicionado, permitindo a avaliação do comportamento do lixiviado em diferentes valores de pH. Foram monitorados a concentração de nitrogênio amoniacal e o pH;
- Ensaios Preliminares no RC: variação da concentração inicial de nitrogênio amoniacal e vazão da bomba de recirculação. Os parâmetros de monitoramento foram: pH, nitrogênio amoniacal e DQO.

Os ensaios de jarros demonstraram que o aumento do pH interfere diretamente para melhorar a eficiência de remoção de amônia por “stripping”, sendo que a aeração com difusão de ar no lixiviado também contribuiu para a eficiência, porém não de maneira significativa. O grau de agitação utilizada no ensaio de jarros não foi a correspondente utilizada no reator de chicanas, porém os resultados serviram para as extrapolações e aplicações necessárias no RC. Verificou-se também, a inviabilidade da alternativa de tratamento em escala real utilizando adição de produto químico, tanto em termos de quantidade de produto a ser utilizada quanto de custo operacional, bem como da quantidade de lodo que seria produzida como resultado da adição de NaOH. A análise final dos ensaios com Teste de Jarros, aliada as conclusões obtidas pelos trabalhos de BERTANZA *et al.* (1998), OZTURK *et al.* (2003) e CHEUNG *et al.* (1997), mostrou que a opção custo-benefício mais



viável para o tratamento de LAS no RC, necessitaria o ajuste de pH do lixiviado para aproximadamente 8,2 (faixa de 7,7 a 8,6), sem utilização de produto químico e agitação mecânica sem aeração.

Nos ensaios preliminares verificou-se que: a) um maior tempo de detenção hidráulica (TDH) melhorou a remoção de nitrogênio amoniacal; b) pode haver uma influência da concentração inicial de NA na remoção do nutriente; c) há possibilidade de que o aumento da vazão de recirculação de lixiviados pode influenciar na remoção de NA; d) A sedimentação de sólidos no RC entre um ensaio e outro não influenciou nos resultados de remoção de NA, não sendo necessário filtrar as amostras antes das análises.

Assim, com base nos resultados obtidos no teste de jarros e nos ensaios preliminares as variações a serem utilizadas nos ensaios em batelada do RC foram: vazão de recirculação de lixiviado (0,0 m<sup>3</sup>/h; 1,7 m<sup>3</sup>/h e 3,5 m<sup>3</sup>/h) e concentração inicial de nitrogênio amoniacal (maior e menor que 600mg/L), sem uso de produto químico e sem aeração. Em relação ao TDH foi adotado o valor de 12 dias.

Foram realizados 15 ensaios de batelada no RC, divididos em 5 testes com características diferentes, de modo a avaliar o desempenho da unidade de tratamento de lixiviado, principalmente frente à remoção de nitrogênio amoniacal. Os testes 1, 2, 3 e 4 utilizaram a recirculação do lixiviado visando intensificar o processo de “stripping” da amônia, utilizando uma bomba para recirculação, enquanto o teste 5 foi desenvolvido sem o auxílio de recirculação visando simular a volatilização natural da amônia. A Tabela 1 apresenta as características de cada teste e ensaio do RC.

**Tabela 1: Dados das especificações dos ensaios realizados no RC**

TESTES	PARÂMETROS - VARIÁVEIS	ENSAIOS
Teste 1	Faixa de concentração inicial de NA < 600 mg/L	RC1, RC4, RC13
	Vazão da Bomba = 1,7 m <sup>3</sup> /h	
Teste 2	Faixa de concentração inicial de NA < 600 mg/L	RC10, RC11, RC14
	Vazão da Bomba = 3,5 m <sup>3</sup> /h	
Teste 3	Faixa de concentração inicial de NA > 600 mg/L	RC2, RC3, RC7 e RC8
	Vazão da Bomba = 1,7 m <sup>3</sup> /h	
Teste 4	Faixa de concentração inicial de NA > 600 mg/L	RC5, RC6, RC9
	Vazão da Bomba = 3,5 m <sup>3</sup> /h	
Teste 5	Faixa de concentração inicial de NA < 600 mg/L	RC12, RC15
	Sem bomba	

Para estes ensaios o volume de lixiviado a ser tratado variou entre 2 e 3 m<sup>3</sup>. Os parâmetros monitorados foram: pH, nitrogênio amoniacal e temperatura ambiente (com frequência diária); série de sólidos, DQO, nitrato e nitrito (realizados no início e final de cada ensaio) e alcalinidade (com frequência a cada dois dias). Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros, metodologia e a frequência de análise para cada parâmetro de controle.

**Tabela 2: Monitoramento do Ensaio em Batelada - RC**

PARÂMETRO	MÉTODO DE ANÁLISE	FREQÜÊNCIA
pH	Potenciométrico <sup>2</sup>	Diário
Nitrogênio Amoniacal	Método Titulométrico <sup>2</sup>	Diário
Nitritos	Método Ácido Fenoldissulfônico	Início e final do ensaio
Nitratos	Método Ácido Salicílico	Início e final do ensaio
Alcalinidade	Método Titulométrico <sup>2</sup>	A cada dois dias <sup>1</sup>
Série de Sólidos	Gravimétrico <sup>2</sup>	Início e final do ensaio
DQO	Refluxo fechado, método colorimétrico <sup>3</sup>	Início e final do ensaio
Temperatura do lixiviado e do ambiente	Termômetro	Diário <sup>1</sup>
Precipitação	-	Diário <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Para os ensaios RC1 e RC2 não foram monitorados a alcalinidade e a temperatura.

<sup>2</sup> Referência Bibliográfica: APHA, 1995

<sup>3</sup> Referência Bibliográfica: APHA, 1995 – Modificação: Manual ISO 15705 MERCK.

<sup>4</sup> Fonte: DEFESA CIVIL, 2008.



### TERCEIRA ETAPA: ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para realização das análises estatísticas foram consideradas as seguintes características: Variabilidade dos Dados - a análise inicial dos dados sempre correspondeu a obtenção da média e desvio padrão, além do coeficiente de variação (CV). Foi objetivo desta pesquisa, apresentar os resultados médios obtidos com valores onde  $CV \leq 20\%$ ; Definição de faixas de temperatura ambiente - foram definidas duas faixas de temperatura ambiente, as quais foram obtidas calculando a média das temperaturas medidas em todos os ensaios do RC. O resultado foi uma média de 21°C, com o desvio padrão de 5 e coeficiente de variação de 22%. Essa temperatura foi definida como o ponto de corte, estudando-se comportamentos acima e abaixo de 21°C; Definição de faixas de precipitação - da mesma forma que a temperatura, foram definidas duas faixas de precipitação, as quais foram obtidas calculando a média das precipitações totais observadas em todos os ensaios. As faixas de precipitação foram definidas como superior e inferior a 51mm. O valor médio de 51mm de precipitação total nos ensaios corresponde a uma precipitação mensal de 127,5mm; valor que ao ser comparado aos dados de pluviometria de São Leopoldo, confirma que o ponto de corte definido.

Foi analisada a similaridade dos ensaios de RC em mesmo teste, utilizando média, desvio padrão e coeficiente de variação. Posteriormente analisou-se a influência da temperatura, precipitação dos sólidos do lixiviado, concentração inicial de NA e vazão de recirculação de lixiviados na remoção de NA e alcalinidade, além do decréscimo de DQO e Sólidos Totais. Para isto utilizou-se o software SPSS 1.5 para Windows para realizar o teste ANOVA com nível de confiança igual a 95%.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Os resultados do monitoramento físico-químico realizado na Estação de Tratamento de Lixiviados do Aterro Sanitário de São Leopoldo, mostrou a grande variabilidade nas características deste líquido. Em termos de nitrogênio amoniacal, por exemplo, a concentração verificada na entrada da ETLix variou entre 219,0 mg/L até 1802,9 mg/L. Em termos de eficiência, para 90 dias de TDH, o tratamento usual do lixiviado dos aterros de São Leopoldo através de lagoas de estabilização mostrou uma remoção de nitrogênio amoniacal variando entre 38% e 65%.

#### RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Analizando globalmente os resultados obtidos, a remoção de nitrogênio amoniacal variou de 6% até 73%, sendo estes extremos referentes ao teste 3, onde foram obtidos os maiores e menores valores de temperatura ambiente de todos os ensaios realizados. Outros trabalhos abordando remoção de NA pelo processo de “stripping”, variando parâmetros como pH, vazão de aeração, TDH e temperatura; alcançaram remoções como: 79% (SILVA *et al.*, 2006); 7% a 96% (CAMPOS *et al.*, 2006); 92% (LEITE *et al.*, 2006); 14% a 68% (BERTANZA *et al.*, 1998); 64% a 89% (MARTTINEN *et al.*, 2002); 45% a 95% (OZTURK *et al.*, 2003); 65% a 93% (CHEUNG *et al.*, 1997); 80% a 99,5% (SILVA *et al.*, 2004) e 94% (CALLI *et al.*, 2005). Percebe-se a grande variabilidade de resultados de remoção de NA encontrados na literatura, confirmando que os resultados obtidos no RC estão dentro da faixa observada por outros autores.

O parâmetro alcalinidade decresceu em todos os ensaios, mostrando um perfil similar em relação à remoção de nitrogênio amoniacal, conforme pode ser observado na Figura 2. Esta relação estreita entre o parâmetro nitrogênio amoniacal e alcalinidade é relatada por SILVA *et al.* (2006), como sendo motivada pelo equilíbrio químico entre os íons amônio e amônia livre, e a conseqüente saída desta por stripping. No mesmo sentido, CAMPOS *et al.* (2006) sugere que um segundo efeito, que pode ocorrer combinado com o primeiro, pode se fazer presente. Trata-se da transformação de bicarbonatos em carbonatos, e estes em CO<sub>2</sub>, que é eliminado através de arraste, pois a velocidade de stripping do CO<sub>2</sub> é maior do que a velocidade de stripping de amônia. O resultado desta dinâmica físico-química reflete-se no decréscimo combinado do teor de nitrogênio amoniacal e alcalinidade, a medida que o processo de stripping é consumado.

A temperatura mostrou influência no processo de remoção de amônia, corroborando com observações de diversos autores (BERTANZA *et al.* (1998); MARTTINEN *et al.* (2002); CALLI *et al.* (2005); CAMPOS *et al.* (2006).



As Figuras 1 e 2 ilustram respectivamente, a remoção de nitrogênio amoniacal obtido no Teste 4 e o decréscimo da alcalinidade, podendo ser verificado também a similaridade no comportamento destes dois parâmetros.

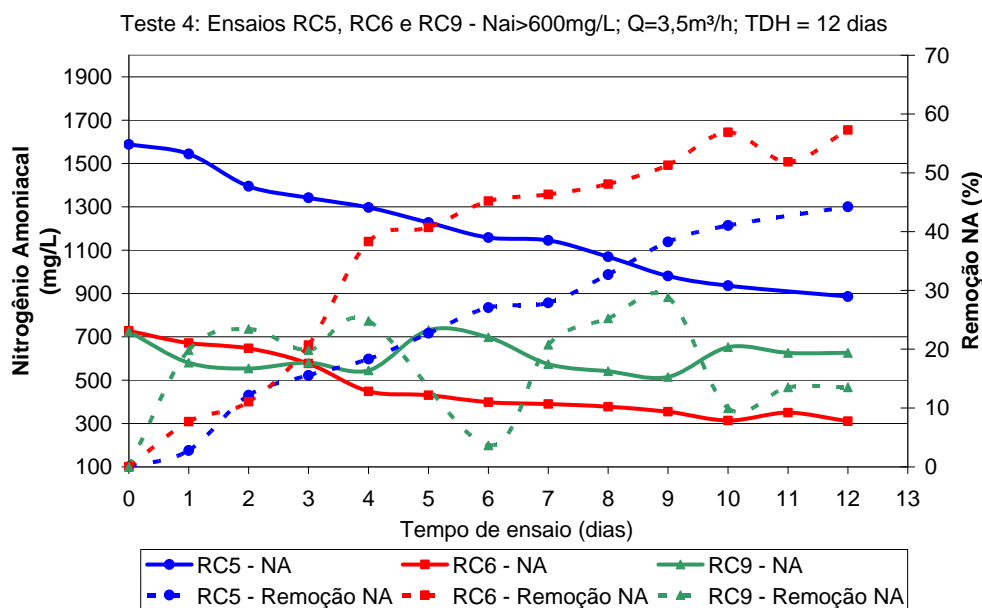


Figura 1: Resultados obtidos no Teste 4: NA inicial  $> 600 \text{ mg/L}$  e vazão de recirculação =  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

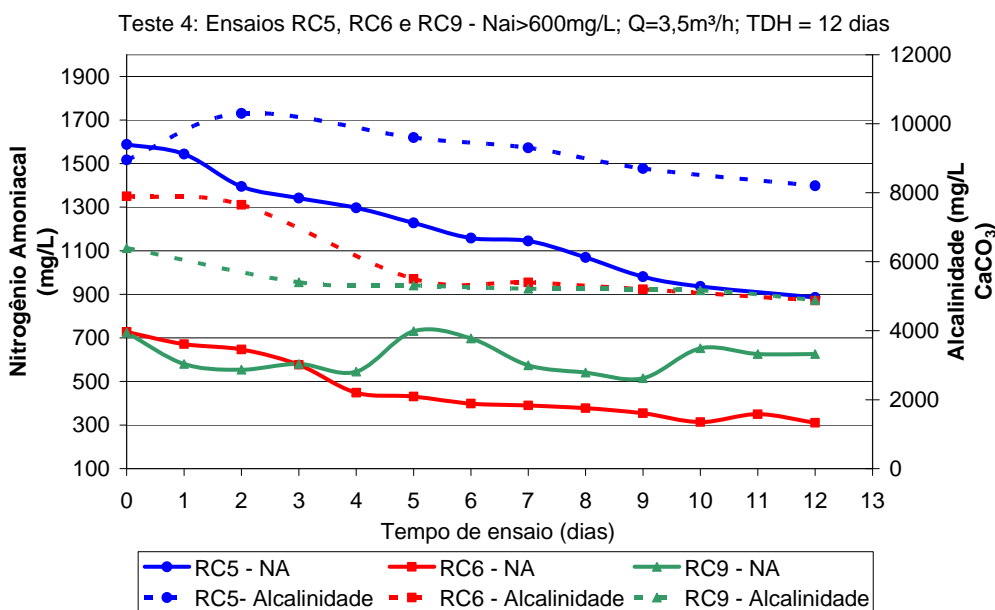


Figura 2: Avaliação dos resultados de NA e Alcalinidade para o Teste 4: NA inicial  $> 600 \text{ mg/L}$  e vazão de recirculação =  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$

## RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

A análise estatística mostrou grande variabilidade entre os resultados obtidos considerando o mesmo teste, não havendo similaridade entre estes. Além disso, verificou-se a influência de outras variáveis como concentração de nitrogênio amoniacal inicial, vazão de recirculação de lixiviado e temperatura. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos diferentes ensaios, bem como a média, desvio padrão e coeficiente de variação calculados.



Tabela 3: Resultados obtidos para remoção de NA de lixiviado de aterro sanitário nos ensaios do RC

TESTE	ENSAIO	REMOÇÃO NA (%)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE VARIAÇÃO (%)
1	RC1	58	51	13	26
	RC4	63			
	RC13	33			
2	RC10	29	18	8	44
	RC11	11			
	RC14	14			
3	RC2	73	36	25	68
	RC3	43			
	RC7	25			
	RC8	6			
4	RC5	44	39	13	34
	RC6	52			
	RC9	21			
5	RC12	33	20	13	64
	RC15	7			

Os resultados da análise estatística buscou avaliar a influência das variáveis (concentração inicial de NA, vazão de recirculação, temperatura e precipitação pluviométrica) sem levar em consideração a característica do teste, mostrou que os parâmetros temperatura ambiente e precipitação pluviométrica influenciaram significativamente na remoção de nitrogênio amoniacal do lixiviado estudado. Estudos envolvendo a influência da precipitação devem ser ampliados, visando confirmar os resultados obtidos, enquanto a influência da temperatura apresentou resultados similares aos obtidos por diversos autores, os quais pesquisaram a remoção de NA de LAS por “stripping”.

Na avaliação das variáveis concentração inicial de NA e vazão de recirculação percebeu-se que, para temperaturas acima de 21°C, a vazão da bomba de recirculação influenciou na remoção de NA, sendo que a vazão 1,7m³/h foi considerada melhor opção técnica-ambiental de tratamento para o caso do LAS de São Leopoldo (Figura 3). Notou-se também que existe significância da concentração inicial de NA para temperaturas abaixo de 21°C, sendo que as maiores remoções foram obtidas para concentração inicial menor que 600mg/L (Figura 4).

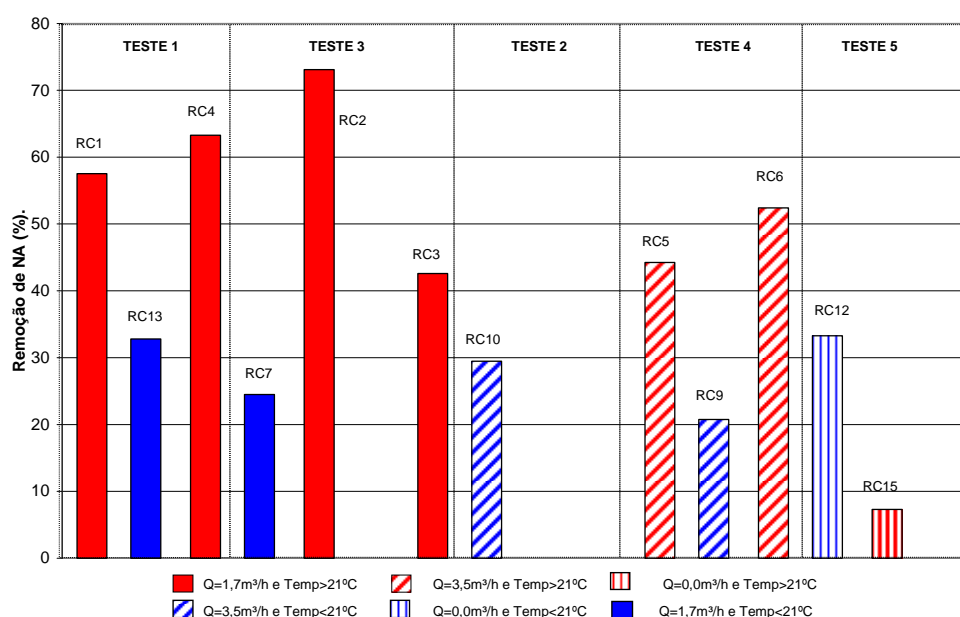
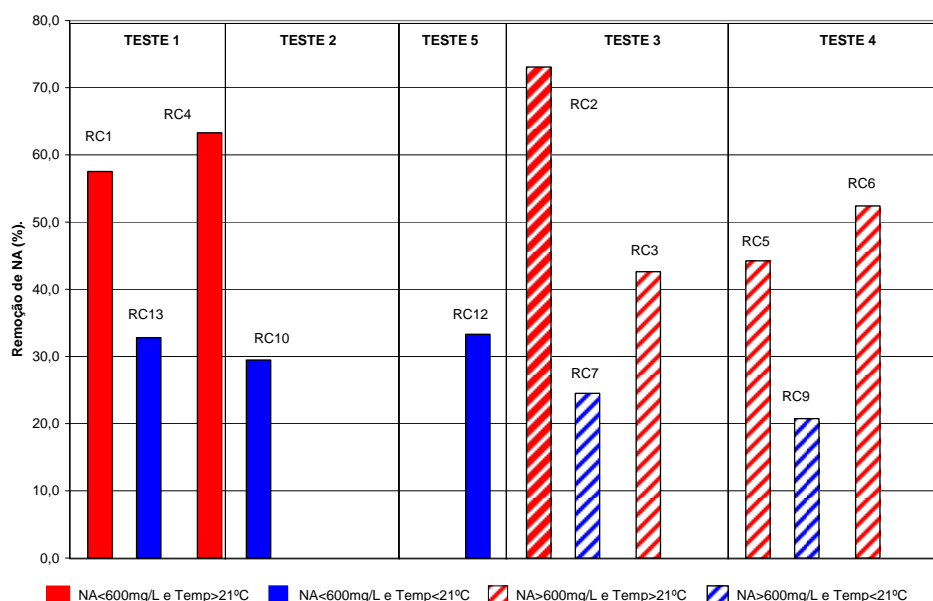


Figura 3: Comparação da remoção de NA obtida no RC sob diferentes vazões de recirculação



**Figura 4: Percentual na remoção de NA pelo RC durante os ensaios utilizando concentrações inferiores e superiores a 600 mg/L de NA**

## CONCLUSÕES

A comparação das análises realizadas na entrada e saída da ETLix mostrou que o tratamento biológico utilizado atualmente, com TDH de 90 dias, promoveu uma remoção entre 38% e 65% de NA. Em contrapartida, o reator de chicanas, operando com 12 dias de TDH, promoveu uma remoção entre 6% e 73%. Desta forma, considera-se promissora a utilização do RC, principalmente no que se refere a operação com TDH menor do que o executado na ETLix, isto deve-se ao fato de que em 6 dos 15 ensaios realizados, a remoção de NA foi superior a 40%.

Em nenhum dos casos analisados anteriormente a remoção do NA foi suficiente para o atendimento da Resolução CONAMA nº 357/05 e Resolução do CONSEMA nº 128 de 2006 ( $NA < 20 \text{ mg/L}$ ), referente ao padrão de lançamento de efluentes em recursos hídricos. Em relação ao RC, para uma concentração inicial de NA menor que 600 mg/L, o menor valor de nitrogênio amoniacal obtido após o tratamento foi de 146,7 mg/L, para uma concentração inicial de 220,1 mg/L (Ensaio RC12), enquanto para concentrações iniciais de NA superiores a 600 mg/L, o menor valor de NA alcançado após tratamento foi de 289,8 mg/L, partindo-se de uma concentração inicial de 898,4 mg/L (Ensaio RC2). Para o maior valor inicial de NA (1802,9 mg/L) observado entre todos os ensaios (Ensaio RC7), o valor final após tratamento no RC foi de 1361,0 mg/L. Estes resultados mostram a necessidade de um pós-tratamento ao reator de chicanas.

Os resultados observados demonstraram que a remoção de NA pelo RC é um processo promissor para ser utilizado como um pré-tratamento aos sistemas biológicos, uma vez que promoveu o decréscimo das concentrações de NA efluentes ao aterro, o que é extremamente importante para eficiência de sistemas biológicos utilizados nas etapas que antecedem o lançamento em corpos receptores.

Sendo assim, para as condições avaliadas, conclui-se que, com TDH igual a 12 dias, em temperaturas superiores a 21°C foi a melhor opção técnica-ambiental de tratamento de LAS, bem como a utilização de vazão de recirculação de lixiviado de 1,7 m³/h, independentemente da concentração inicial da NA. Entretanto, para temperaturas inferiores a 21°C, o melhor desempenho do RC ocorreu com NA inicial menor do que 600 mg/L, sem que a vazão de recirculação de lixiviado tenha indicado qualquer interferência. Em suma, para baixas temperaturas, apenas um TDH maior no sistema poderá resultar em melhores resultados, sem a necessidade de gastos com energia para a recirculação do efluente.





Com relação a alcalinidade, esta apresentou um comportamento similar ao nitrogênio amoniacal em todos os ensaios realizados, ou seja, observou-se o decréscimo de ambos. Desta forma, o monitoramento da alcalinidade representa um fator importante para monitorar a eficiência do processo de “stripping” da amônia. Por fim recomenda-se: a) testar tempos de detenção hidráulica (TDH's) maiores do que 12 dias para temperaturas inferiores a 21°C e NA inicial menor do que 600 mg/L, de forma a avaliar a eficiência de remoção; b) realizar ensaios de batelada com as chicanas verticais e/ou mista, ou seja, promovendo um fluxo variado de lixiviado. Esta alternativa foi utilizada nos ensaios preliminares ao RC e mostrou-se promissora em termos de remoção por “stripping”; c) em função das dificuldades de alcançar resultados similares para um mesmo teste, sugere-se a execução dos ensaios em três reatores de chicanas iguais dispostos em paralelo, como mesmas características do lixiviado, vazão de recirculação e condições climáticas; d) promover estudos para captação dos gases de amônia emitidos no processo de “stripping”, de forma ao processo tornar-se sustentável e o sistema de tratamento não ser utilizado como meio de transporte de poluentes do líquido para o ar; e) pesquisar possíveis relações entre os parâmetros alcalinidade e remoção de NA por stripping, estabelecendo um coeficiente de relação entre eles, visando a possibilidade de substituir a análise de NA pela de alcalinidade no monitoramento do processo de “stripping”.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, 1995: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION (Ed.). *Standard methods for examination of water and wastewater*. 19. ed. Washington: Apha, 1995.
2. AZIZ, Hamidi Abdul; ADLAN, Mohd Nordin; ZAHARI, Mohd Shahrir Mohd; ALIAS, Salina. Removal of ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>3</sub>) from municipal solid waste leachate by using activated carbon and limestone. *Wast Management & Research*. 22: 371-375, 2004.
3. BERTANZA, Carlo Collivignarelli Giorgio; BALDI, Marco; AVEZZÙ, Franco. Ammonia stripping from MSW landfill leachate in bubble reactors: process modeling and optimization. *Wast Management & Research*. 16 (5): 455-466, 1998.
4. BURTON, Simon A. Q.; WATSON-CRAIK, Irene A. Ammonia e nitrogen fluxes in landfill site: applicability to sustainable landfilling. *Wast Management & Research*. 16: 41-53, 1998..
5. CALLI, Baris; MERTOGLU, Bulent; INANC, Bulent. Landfill leachate management in Istanbul: applications and alternatives. *Chemosphere*. 59: 819-829, 2005.
6. CAMPOS, Juacyara Carbonelli; YOKOYAMA, Lídia; MOURA, Denise Adelina Guimarães; BARCELLOS, Julie Frota; CARDILLO, Luigi. Remoção de Amônia por arraste de ar em chorume visando o aumento de sua biotratabilidade: resultados preliminares. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. 2006. 8p.
7. CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; FERNANDES, Fernando; FERREIRA, Jôa Alberto; JUCÁ, José Fernando Thomé; LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo; PESSIN, Neide; SANTOS NETO, Pedro Murrieta; ZANTA, Viviana Maria. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 91p.
8. CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha; LEITE, Valderi Duarte; SOUSA, José Tavares de. Capítulo 6: Tratamento e recirculação de lixiviados. In: FERREIRA, Andréia C.; CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; ANDREOLI, Cleverson Victorio; PAULA JÚNIOR, Durval Rodrigues de; BORGES, Eduardo Sales Machado; SOARES, Hugo Moreira; SOUSA, José Tavares de; MORAES, Luciana de Mattos; PINTO, Marcelo Texeira; FRANÇA, Milene; PONTES, Patrícia Procópio; LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha; BELLI FILHO, Paulo; PINTO, Rafael de Oliveira; GONÇALVES, Ricardo Franci; VAZOLLER, Rosana Filomena; CASSINI, Sérgio Túlio (Coordenador); LEITE, Valderi Duarte; LOPES, Wilton Silva. *Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. p. 166-196.
9. CHEUNG, K. C., CHU, L. M., WONG, M. H. Ammonia Stripping as a pretreatment for landfill leachate. *Water, Air and Soil Pollution*. 94: 209-221, 1997.
10. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução N° 357 de 17 de março de 2005. 23 p.
11. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. Resolução N° 128 de 2006. 9p.
12. DEFESA CIVIL. [www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometrico\\_consulta.asp](http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometrico_consulta.asp), acessado em 20 de novembro de 2008.



13. FERNANDES, Fernando; COSTA, Rejane Helena Ribeiro da Costa; GOMES, Luciana Paulo; FERREIRA, João Alberto; BEAL, Lademir Luiz; CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da; CAMPOS, Juacyara Carbonelli; LOPES, Deize Dias; BOFF, Ricardo Dalpiaz; SILVA, Joel Dias da. Capítulo 5: Tratamento Biológico de Lixiviados de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; FERNANDES, Fernando; FERREIRA, João Alberto; JUCÁ, José Fernando Thomé; LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo; PESSIN, Neide; SANTOS NETO, Pedro Murrieta; ZANTA, Viviana Maria. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 91p.
14. FERREIRA João Alberto; MANNARINO, Camille Ferreira; MOREIRA, Josino Costa; ARIAS, Ana Rosa Linde; BILA, Daniele Maia. Avaliação da eficiência do tratamento combinado de lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos em estações de tratamento de esgotos usando ensaios ecotoxicológicos – Estudo de casos. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. 2006. 8p.
15. FLECK, Eduardo. Sistema Integrado por Filtro Anaeróbio, Filtro Biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 323f.
16. IAMAMOTO, Cristina Yuriko. Remoção de Nitrogênio de Águas Residuárias com elevada concentração de nitrogênio amoniacal em reator contendo biomassa em suspensão operado em bateladas sequenciais e sob aeração intermitente. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006. 139f.
17. JUCÁ, José Fernando Thomé. Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos e V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. Porto Alegre, 2003. p. 443.
18. LANGE, Lisete Celina; SIMÕES, Gustavo Ferreira; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves; SILVA, Florence Vasconcelos B. Implantação e operação de um aterro sustentável para pequena comunidade. In: CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo; PESSIN, Neide. *Alternativa de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para pequenas comunidades*. Florianópolis/SC: RiMa, ABES, 2002. p. 29 – 35.
19. LEITE, Valderi Duarte; LUNA, Maria Luciana Dias de; BENTO, Edilma Rodrigues; LOPES, Wilton Silva, SILVA, Robson Rogaciano Fernandes da. Estudo do pH e Nitrogênio Amoniacal no processo de stripping da amônia. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. 2006. 10p.
20. MARTTINEN, S. K.; KETTUNEN, R.H.; SORMUNEN, K. M.; SOIMASUO, R.M.; RINTALA, J. A. Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates. *Chemosphere*. 46: 851-858, 2002.
21. MOREIRA, Fernando Augusto; LANGE, Lisete Celina; FLORA, Renato Silva. Avaliação da Eficiência de Remoção de Amônia e Lixiviados de Aterro Sanitário como Pré e Pós Tratamento na Digestão Aeróbia e Anaeróbia. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. 2006. 8p.
22. OZTURK, Izzet; ALTINBAS, Mahmut, KOYUNCU, Ismail; ARIKAN, Osman; GOMEZ-YANGIN, Cigdem. Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. *Waste Management*. 23: 441-446, 2003.
23. PESSIN, Neide; SILVA, Arthur Roberto; CONTO, Suzana Maria de; PANAROTTO, Cláudia Teixeira; BEAL, Lademir Luiz. Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos. In: CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; LANGE, Lisete Celina; GOMES, Luciana Paulo; PESSIN, Neide. *Alternativa de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para pequenas comunidades*. Florianópolis/SC: RiMa, ABES, 2002. p. 13 – 17.
24. RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F. ; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. 150: 468-493, 2008.
25. RODRIGUES FILHO, Geraldo Martins; ROCHA, Otídene Rossiter Sá da; BENACHOUR, Mohand; MOTTA, Maurício da; SILVA, Valdinete Lins da. Desenvolvimento de Processos Foto Fenton Like com uso de luz solar para tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. 2006. 6p.
26. SANTOS, Luiz Aníbal de Oliveira Santos. Projeto Construção e Monitoramento de Aterro Sanitário Controlado e Recuperação de Lixões: Interfaces com a Geotecnia, Geologia, Hidrogeologia e Tecnologia de Linings. Anais do Simpósio Internacional de Destinação de Lixo: Salvado, Bahia. 1994. p. 88-103.



27. SILVA, A. C.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA JR, G. L. Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*. 55: 207-214, 2004.
28. SILVA, Sandra Márica Cesário Pereira da; HOSSAKA, André Luiz; FERNANDES, Fernando; SOBRINHO, Pedro Além. Remoção prévia do nitrogênio amoniacal de lixiviado de aterro sanitário visando posterior tratamento biológico. Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG. 2006. 6p.
29. Water Environment Federation (WEF) & American Society of Civil Engineers (ASCE) / Environmental and Water Resources Institute (EWRI). *Biological Nutrient Removal (BNR) Operation in Wastewater Treatment Plants*, 1 ed., WEF Manual of Practice n° 29 and ASCE/EWRI Manuals and Reports on Engineering Practice n° 109. McGraw-Hill: New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto, 2005. 597p.
30. ZANOTELLI, Cladir Teresinha. Modelagem Matemática de Nitrogênio e Fósforo em Lagoas Facultativas e de Aguapés para tratamento de dejetos suínos. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 180f.