

II-022 - AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE AMÔNIA DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR PROCESSO DE ARRASTE COM AR

Juacyara Carbonelli Campos⁽¹⁾

Engenheira Química pela Escola de Química - UFRJ. Doutora em Engenharia Química/Tecnologia Ambiental pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química-UFRJ

Lídia Yokoyama

Mestre em Engenharia Metalúrgica - PUC-RJ. Doutora em Química (Química Analítica Inorgânica)- PUC-RJ. Professora Adjunta do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química- UFRJ

Denise Adelina Guimarães Moura

Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química – UFRJ. Engenheira Química pela UERJ

Ana Paula Mattos Costa

Engenheira Química pela Escola de Química - UFRJ

Luigi Cardillo

Engenheiro Químico pela Faculdade Politécnica de Milão (Itália). Diploma reavaliado pela Escola Politécnica da USP. Responsável técnico da AQUAPRO Engenheiros Associados Ltda

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 Bloco E – Centro de Tecnologia – sala 206. Ilha do Fundão. CEP 21941-909. Tel e Fax: +55 (21) 2562-7640 - e-mail: juacyara@eq.ufrj.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar a tecnologia de arraste com ar para remoção de amônia em lixiviados de aterros sanitários. Foram investigados, no processo de arraste, os parâmetros pH, temperatura, vazão de ar e tempo de operação. Além disso, foi estudada, a relação entre a alcalinidade do lixiviado e a remoção de amônia durante o processo. Na temperatura de 60°C e vazão específica de ar 120 L ar.h⁻¹. L⁻¹ foram alcançadas remoções de nitrogênio amoniacal acima de 97% em um período de operação de 7 horas, sem ajuste de pH. Ademais, pôde-se observar a forte influência que a alcalinidade do lixiviado exerceu sobre a remoção de amônia, mostrando que conforme a alcalinidade diminuiu, a concentração de nitrogênio amoniacal também diminuiu devido à remoção prévia de CO₂, ocorrendo o aumento do pH, favorecendo desta forma, o arraste de NH₃. Foram realizados ensaios de toxicidade com amostras de lixiviado bruto e tratado e foi constatada elevada toxicidade do lixiviado bruto em relação ao lixiviado tratado para o organismo *Danio rerio*, após 48 h de exposição. O lixiviado bruto apresentou CL50 1,72% e o lixiviado tratado CL50 39,4%, mostrando a elevada toxicidade da amônia.

PALAVRAS-CHAVE: lixiviado de aterro sanitário, amônia, arraste com ar, alcalinidade, temperatura, pH.

INTRODUÇÃO

No lixiviado de aterros sanitários, frequentemente, a amônia é encontrada em concentrações elevadas, superior a 1.000 mg N-NH₃.L⁻¹. Por sua solubilidade e altas concentrações é um importante traçador da contaminação do lixiviado nos corpos hídricos (MANNARINO, 2003), porém, tais características também são fatores limitantes para a eficiência da remoção da amônia por diversas tecnologias.

Geralmente, são encontradas elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal em lixiviados de aterros antigos, que são geradas em consequência da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados, durante a fase acetogênica.

Os efluentes, com alta concentração de nitrogênio amoniacal, quando descartados em cursos d'água, sem prévio tratamento, podem estimular o crescimento de algas, a depleção do oxigênio dissolvido, além de serem tóxicos à biota do ecossistema aquático. Quando em sistemas de tratamento biológico, as altas concentrações de nitrogênio amoniacal podem causar problemas de odores, além de serem tóxicas às bactérias decompositoras (CASTILHOS Jr. et al., 2006).

Devido às elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal presente nos lixiviados, o tratamento biológico direto resultará em baixa eficiência de remoção, causado pela toxicidade do elevado teor de amônia (AZIZ et al., 2004). Em consequência disso, diversos autores (OZTURK et al., 2003; CARRERA et al., 2003 e LI & ZHAO, 1999) afirmam que é imprescindível um pré-tratamento ao processo biológico para reduzir a concentração de nitrogênio amoniacal. Os tratamentos físico-químicos mais adequados (GANIGUÉ et al., 2007) são: arraste de ar, osmose inversa, precipitação química, oxidação e adsorção (utilizando zeólitas e carvão ativado).

Um dos métodos físico-químicos mais comumente utilizados para remoção de amônia em lixiviados é o de arraste com ar (KURNIAWAN et al., 2006; AZIZ et al., 2004 e COLLIVIGNARELLI et al., 1998). Alguns trabalhos da literatura apontam para o sucesso de tratamento. Calli et al. (2005) trabalharam em escala de laboratório com lixiviado do Aterro de Komurcuoda (Istambul) e realizaram arraste por 12 h, onde foram alcançadas remoções de 94% de amônia, adicionado 11 g.L⁻¹ de cal. Ozturk et al. (2003) obtiveram remoção máxima de nitrogênio amoniacal (85%) quando utilizou-se o pH 9,2. Martinen et al. (2002) obtiveram eficiências de remoção de amônia com valores acima de 93% a partir de lixiviados com elevadas concentrações iniciais de amônia (0,5-0,7g N.L⁻¹). Collivignarelli et al. (1998) alcançaram elevadas remoções de amônia, sem necessidade de adição de alcalinizantes, apenas elevando a temperatura para 60-70 °C e que as condições ótimas de trabalho (sem adição de alcalinizante) e temperatura de 70 °C o custo de tratamento foi de US\$ 2,94-4,70 por m³. Cheung et al. (1997) trabalharam com lixiviado oriundo do Aterro Junk Bay (Hong Kong) em escala de laboratório. Neste trabalho, foi adicionado 10 g.L⁻¹ de cal para ajustar o pH para 11 e com isso, foi alcançada remoção de 90% de amônia. Diamadopoulos (1994) trabalhou com lixiviado estabilizado do Aterro de Thessaloniki (Grécia) usando arraste de amônia, com tempo de retenção de 24h. Com uma concentração inicial de 2215 mg N-NH₃.L⁻¹, foi alcançada uma remoção de 95%, em pH 11,5. O autor concluiu que o aumento da vazão de ar, incrementou a eficiência do processo pela maior interação entre as fases ar e líquido.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo minimizar o impacto da elevada concentração de amônia de lixiviados no ecossistema de maneira geral, utilizando para isso a tecnologia de arraste por ar ("air stripping"). Mais especificamente, avaliar o processo de arraste com ar para remoção de amônia de lixiviados de aterros sanitários, focando na interação dos parâmetros pH, alcalinidade e temperatura.

MATERIAS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado o lixiviado oriundo do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ). A caracterização do lixiviado foi feita com base nos seguintes parâmetros: pH, DQO, DBO, nitrogênio amoniacal (N-NH₃), alcalinidade total, ST, SST e cloretos. Todos os procedimentos analíticos utilizados se basearam no APHA (2005). A Tabela 1 mostra a caracterização do lixiviado utilizado neste trabalho.

Tabela 1 – Características do lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ)

Parâmetros	Faixa	Valor Médio
pH	8,03 – 8,66	8,35
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	6502 – 9235	8857
Alcalinidade de Carbonatos (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	0 – 985	450
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	5517 – 9162	8374
Nitrogênio Amoniacal (mg [N-NH ₃].L ⁻¹)	1333 – 2010	1998
Cloretos (mg.L ⁻¹)	2501 – 4216	3196
Fósforo Reativo Dissolvido (mg.L ⁻¹)	5,6 – 8,1	7,5
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	7270 – 11443	9390
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	17 – 79	53
COD (mg.L ⁻¹)	831 – 966	935
DQO (mg.L ⁻¹)	2501 – 3466	3332
DBO5 (mg.L ⁻¹)	72 – 157	141

Ensaio para avaliação do pH

Os ensaios preliminares deste estudo foram conduzidos em batelada, utilizando-se um bécher e um banho térmico com um volume reacional de 2 litros. O lixiviado foi aerado através de compressor de aquário e foi homogeneizado constantemente com o auxílio de um agitador de modo a garantir uma melhor distribuição do ar no seio do líquido. Foram realizados experimentos com o pH natural e os valores de pH 9,5 e 11,0 nas temperaturas ambiente (25°C), 40°C e 60°C. Amostras foram retiradas de hora em hora e análises de pH e alcalinidade (total, carbonato e bicarbonato) foram medidas imediatamente. Os ensaios foram realizados em um período de 7 horas.

Ensaio para avaliação da vazão de ar

A unidade de remoção de amônia por arraste com ar consiste em uma coluna (torre) de PVC (12 cm de diâmetro, 120 cm de altura). A entrada de ar comprimido fica localizada próximo ao topo da coluna, porém sua distribuição era feita no fundo através de um difusor com 16 orifícios. O ar é fornecido ao processo através de um compressor e a vazão de ar é medida em um rotâmetro e controlada manualmente. Na base da coluna fica localizada uma resistência térmica e, acoplado a esta resistência há um termopar fixado na parede interna da coluna que emite o sinal para um controlador e indicador de temperatura que mantém o processo na temperatura programada.

O lixiviado foi alimentado no topo da torre em uma quantidade fixa (2,5 Litros) e o ar foi injetado continuamente durante 7 horas. Foram realizados experimentos com o pH natural, nas temperaturas 40°C e 60°C e com as vazões específicas de ar 73, 96 e 120 L_{ar}.h⁻¹. L_{lixiviado}⁻¹. Amostras foram retiradas de hora em hora e análises de pH e alcalinidade (total, carbonato e bicarbonato) foram medidas imediatamente.

Análise de Ecotoxicidade

Foram realizadas análises de ecotoxicidade utilizando o peixe *Danio rerio* no lixiviado bruto e no lixiviado tratado na coluna de arraste, a 60 °C, pH inicial sem alteração e vazão específica de ar 73 L_{ar}.h⁻¹. L_{lixiviado}⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio para avaliação do pH

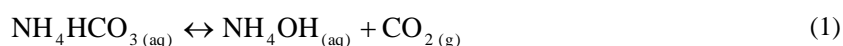
A Tabela 2 ilustra um resumo dos resultados de remoção de nitrogênio amoniacal obtidos nestes ensaios

Tabela 2. Remoção de amônia após 7 horas de operação nos ensaios da 1ª etapa

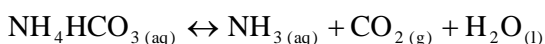
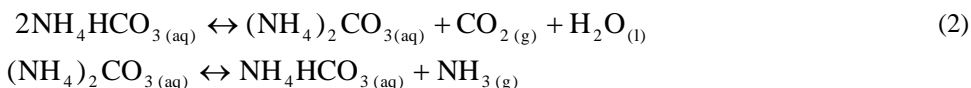
Condições de ensaio	T = 25°C	T = 40°C	T = 60°C
pH natural = 8,3	16,8 %	38,8 %	95,9 %
pH = 9,5	21,4 %	43,9 %	96,7 %
pH = 11,0	36,6 %	64,2 %	98,1 %

Na condição de pH natural e temperatura ambiente não foi alcançada remoção significativa de nitrogênio amoniacal (16,8% de remoção após 7 horas de arraste), porém isso já era esperado, visto que as condições de ensaio não eram favoráveis para o arraste. O pH final foi de 9,31 e esse fato será repetido nas demais condições.

Isso se explica pelas diferentes taxas de remoção de amônia e dióxido de carbono (maior para o dióxido de carbono) até as condições de equilíbrio serem alcançadas. Esses resultados são compreensíveis levando em consideração as diferentes constantes de Henry dos dois gases (1,420 atm para CO₂ e 0,75 atm para NH₃ a 20°C), que indicam que o arraste do CO₂ é bem mais rápido que o arraste da amônia livre (CARDILLO, 2004). Segundo Ries et al. (1969), a explicação deste fenômeno é a decomposição do bicarbonato de amônia, presente no lixiviado, de acordo com a reação 1:



Além disso, Ries *et al.* (1969) afirmam que a extração de CO₂ e de NH₃ acontece em função do tempo de retenção, porém com uma velocidade maior de remoção de CO₂, quando o lixiviado é submetido somente a aquecimento e agitação. Cardillo (2004) teve como um dos seus resultados analíticos a confirmação de que a alcalinidade presente no lixiviado é predominantemente bicarbonácea e de que o nitrogênio amoniacal está quase todo fixado na forma de carbonatos e bicarbonatos. A partir dessas e outras constatações analíticas foi estudado experimentalmente o comportamento do nitrogênio amoniacal e da alcalinidade em condições de agitação e de aquecimento, introduzindo para a remoção da amônia e do CO₂ o método de arraste com ar. Nestes mesmos experimentos foi estudado o comportamento dos bicarbonatos e carbonatos, a fim de verificar as duas reações intermediárias (2 e 3) que levam à reação final (4) de liberação de NH₃ e CO₂. Segundo Cardillo (2004):



A reação 4 é equivalente à reação 1.

Nas condições de temperatura ambiente e pH de 9,5 (21,4% de remoção após 7 horas de arraste). O pH final foi de 9,58. No momento em que o lixiviado foi alcalinizado para se chegar ao pH 9,5, o equilíbrio da reação 2 foi deslocado para a direita, havendo formação de grandes quantidades de carbonato, o que explica a elevada concentração inicial desta espécie no segundo ensaio. Durante todo o ensaio as concentrações de carbonato e bicarbonato se mantiveram praticamente constantes devido ao equilíbrio concomitante das reações 2 e 3.

Nas condições de pH 11 e temperatura ambiente, houve um incremento na remoção de amônia em relação às condições anteriores (36,6% de remoção após 7 horas de arraste), porém ainda é um valor baixo. Neste ensaio, o pH foi elevado até 11,0 com o auxílio de um alcalinizante, com isso, todo o bicarbonato contido no lixiviado inicialmente foi transformado em carbonato, o que explica a ausência de bicarbonato inicial. Por este motivo o pH ao invés de aumentar, como aconteceu nos outros ensaios até aqui realizados, diminuiu já que nas condições estudadas prevalece o equilíbrio da reação 3.

À temperatura de 40°C e pH natural, foi alcançado 38,8% de remoção após 7 horas de arraste. Apesar do meio não ter sido alcalinizado, essa eficiência de remoção foi obtida diante da alcalinidade intrínseca do lixiviado e a elevação da temperatura para 40°C, o que favorece muito mais os equilíbrios envolvidos que à temperatura ambiente de 25°C. Quando a temperatura é elevada de 25°C para 40°C o K_a varia de 5,77 x 10⁻¹⁰ para 1,60 x 10⁻⁹ mol⁻¹.L (Lide, 1993). O pH final foi de 9,26.

O resultado de eficiência de remoção de amônia do processo a 40 °C e pH 9,5 dobrou em relação à condição de temperatura ambiente e mesmo pH (de 21,4% para 43,9%), sendo o pH final do processo igual a 9,69. O mesmo aconteceu para o processo a 40 °C e pH 11,0 em relação ao mesmo pH e temperatura ambiente: a eficiência de remoção passou de 36,6 para 64,2%). O pH final foi de 10,42.

Os ensaios realizados a 60 °C e nos diferentes valores de pH alcançaram remoções similares e maiores que 95%. Nessa condição de temperatura a constante K_a (equação 1) era de 5,39 x 10⁻⁹ mol⁻¹.L (Lide, 1993), o que favoreceu o processo de arraste. O pH final nestes ensaios foram de 9,69; 9,58 e 10,75 para as condições inicial de pH natural, 9,5 e 11,0, respectivamente.

Com os resultados dos ensaios dessa etapa pode-se observar que só houve remoções consideráveis na temperatura de 60°C, já na temperatura ambiente as remoções foram muito baixas. Estas evidenciam a forte influência da temperatura na remoção de amônia. O pH também mostrou sua influência nos resultados, porém na temperatura de 60°C (elevadas eficiências de remoção) o pH não influenciou muito, tendo-se pequenas diferenças de remoção variando-se o pH.

Metcalf & Eddy (2003) afirmam que o processo de arraste da amônia envolve a elevação do pH para níveis elevados, usualmente na ordem de 10,5 a 11,5, porém com base nos resultados aqui obtidos pode-se concluir que para o lixiviado, que é um efluente que possui altos índices de alcalinidade, é possível realizar o processo de arraste com ar de amônia sem adição de alcalinizantes e alcançar elevadas remoções de nitrogênio amoniacal, desde que operado em temperaturas mais elevadas (~ 60°C). Liao *et al.* (1995) também estudaram o arraste com ar da amônia e chegaram a conclusões semelhantes com as obtidas neste trabalho. Em seus experimentos à temperatura ambiente (22°C) foi necessário um pH elevado (10,5 – 11,5) para obter elevadas eficiências de remoção de amônia, mas a adição de excesso de hidróxido de cálcio (alcalinizante) causou problemas de incrustações, e como consequência a eficiência do sistema diminuiu surgindo problemas de manutenção. Todavia, segundo Bonmati & Flotats, (2002) se o arraste com ar fosse realizado em temperaturas elevadas, somente com a capacidade de tamponamento do efluente, seria suficiente para manter o pH no valor necessário e a quantidade de álcali poderia ser reduzida ou até mesmo desnecessária.

Ensaios para avaliação da vazão de ar

A evolução da alcalinidade (total, carbonácea e bicarbonácea) e a remoção de amônia com o tempo foram similares aos resultados obtidos na etapa anterior. A Tabela 3 apresenta, resumidamente, os resultados dos ensaios.

Tabela 3– Remoção de amônia após 7 horas de operação nos ensaios na coluna de arraste

Condições de ensaio	$Q_{ar} = 73 \frac{L_{ar} \cdot h^{-1}}{L_{lixiviado}}$	$Q_{ar} = 96 \frac{L_{ar} \cdot h^{-1}}{L_{lixiviado}}$	$Q_{ar} = 120 \frac{L_{ar} \cdot h^{-1}}{L_{lixiviado}}$
T = 40°C	29,0 %	48,2 %	58,7 %
T = 60°C	91,3 %	95,2 %	98,0 %

Os valores de remoção obtidos a 60°C foram bem próximos, ou seja, a vazão (na faixa estudada) não influenciou muito nos resultados de remoção. De qualquer maneira, as eficiências de remoção de amônia foram elevadas para as três vazões específicas utilizadas. Estes resultados, mais uma vez, confirmam os resultados obtidos nos ensaios da 1ª etapa, e, pode-se também observar, novamente, a influência que a remoção de alcalinidade exerce sobre a remoção da amônia. À medida que a alcalinidade é removida a concentração de nitrogênio amoniacal diminui quase que proporcionalmente.

Como em aterros sanitários existe a possibilidade de implantação do sistema de captação de biogás e geração de energia a partir do gás metano produzido durante o processo de digestão anaeróbia dos RSU, o aquecimento do lixiviado durante o processo de arraste torna-se economicamente viável. Além disso, a temperatura de 60°C (condições em que se obtiveram altas remoções de amônia) não é um valor extremamente elevado, podendo-se ainda instalar um trocador de calor na saída do lixiviado do arraste para que este troque calor com o lixiviado de entrada do processo, desta forma consegue-se o resfriamento do lixiviado de saída, preparando-o para a próxima etapa do tratamento, e o pré-aquecimento do lixiviado de entrada reduzindo o consumo de energia usada para o aquecimento do mesmo.

A mesma energia gerada pelo biogás que pode ser usada para aquecer o lixiviado também pode ser utilizada para o compressor, que é um equipamento de suma importância no processo de arraste, sendo responsável pela formação das bolhas de ar que farão o arraste da amônia, assim chega-se a conclusão que diante de todo aproveitamento energético envolvido o processo de arraste pode ser uma técnica de remoção de amônia, além de eficiente e simples, não onerosa.

Foram realizadas análises de caracterização do lixiviado tratado com relação aos mesmos parâmetros analisados inicialmente no lixiviado bruto. Estes resultados estão expostos na Tabela 4, juntamente com os resultados já apresentados na Tabela 1 do lixiviado bruto, para melhor entendimento dos efeitos do tratamento. Os resultados estão divulgados em termos de valores médios. Os dados do lixiviado tratado são referentes aos tratamentos realizados à temperatura de 60°C, em pH natural e em todas as condições de vazão, sendo feita uma média desses valores, pois eles eram bastante próximos.

Tabela 4 – Resultados de caracterização do lixiviado bruto e tratado (valores médios).

Parâmetros	Lixiviado Bruto	Lixiviado Tratado
pH	8,35	9,65
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	8857	2242
Alcalinidade de Carbonatos (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	450	1227
Alcalinidade de Bicarbonatos (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	8374	1015
Nitrogênio Amoniacal (mg [N-NH ₃].L ⁻¹)	1998	152
Cloretos (mg.L ⁻¹)	3196	3548
Fósforo Reativo Dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,5	7,8
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	9390	9875
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	53	66
COD (mg.L ⁻¹)	935	947
DQO (mg.L ⁻¹)	3332	3383
DBO5 (mg.L ⁻¹)	141	201

A Tabela 4 mostra que, exceto para os parâmetros até aqui estudados (pH, alcalinidade e nitrogênio amoniacal), as características do lixiviado não mudaram significativamente.

Avaliação da Ecotoxicidade

Os resultados dos ensaios de toxicidade utilizando os peixes *Danio rerio* mostraram valores de CL50 de 1,72% e 39,40% para as amostras de lixiviado bruto e trata (condições), respectivamente.

A concentração de nitrogênio amoniacal nas amostras de lixiviado bruto e tratado utilizadas no teste foi 1893 mg.L⁻¹ e 54 mg.L⁻¹, respectivamente. A diferença de toxicidade das amostras estudadas é, sem dúvida, devido à alta concentração de nitrogênio amoniacal do lixiviado bruto.

De fato, podemos considerar que a amônia é um parâmetro responsável por uma importante parcela da toxicidade do lixiviado. Desta maneira, para o sucesso do tratamento biológico do lixiviado é necessário a sua remoção.

CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou a influência dos parâmetros pH, alcalinidade e temperatura na remoção de amônia de lixiviados de aterros de resíduos. Com o acompanhamento das remoções de alcalinidade e amônia durante o processo pôde-se constatar a forte relação existente entre essas duas variáveis, uma vez que suas remoções foram concomitantes. Como os bicarbonatos, responsáveis por quase toda alcalinidade inicial do lixiviado, formam carbonatos (1ª etapa), o pH aumenta para aproximadamente 9,0, o que favorece a remoção da amônia na forma livre (NH₃). Em temperaturas moderadamente elevadas (60°C) este efeito é significativo, obtendo-se maiores remoções sem adição de alcalinizante, que é um fator positivo no que diz respeito ao custo variável do processo e no custo de manutenção, uma vez que a adição de alcalinizante pode gerar precipitados, formando incrustações nos equipamentos.

Na faixa estudada a vazão específica de ar não mostrou muita influência obtendo-se remoções de amônia acima de 84% a 60°C nas três vazões testadas (73, 96 e 120 L_{ar}.h⁻¹. L_{lixiviado}⁻¹).

No ensaio de toxicidade foi constatada elevada toxicidade do lixiviado bruto em relação ao lixiviado tratado para o organismo testado, após 48 h de exposição. Vale ressaltar que os organismos morreram nas primeiras horas de exposição. O lixiviado bruto apresentou CL50 1,72% e o lixiviado tratado CL50 39,4%.

A concentração de nitrogênio amoniacal nas amostras de lixiviado bruto e tratado utilizadas no teste foi 1893 mg.L⁻¹ e 54 mg.L⁻¹, respectivamente. A diferença de toxicidade das amostras estudadas é sem dúvida, devido à alta concentração de nitrogênio amoniacal do lixiviado bruto. Porém, ainda é necessária a utilização de um processo que remova e/ou transforme os compostos recalcitrantes presentes no lixiviado antes de tratá-lo biologicamente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ e CNPq pela obtenção de financiamento para pesquisa e à COMLURB, pelo envio de amostras de lixiviado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed., 2005.
2. AZIZ, H.A., ADLAN, M.N., ZAHARI, M.S.M, ALIAS, S., Removal of ammoniacal nitrogen (N-NH_3) from municipal solid waste leachate by using activated carbon and limestone. Waste Manage Res 2004: 22: 371–375, 2004.
3. BONMATI, A., FLOTATS, X. Air stripping of ammonia from pig slurry: characterisation and feasibility as a pre- or post-treatment to mesophilic anaerobic digestion. Waste Management, 23, 261–272, 2003.
4. CALLI, B., MERTOGLU, B., INANC, B. Landfill leachate management in Istanbul: applications and alternatives, Chemosphere 59, 819–829, 2005.
5. CARDILLO, L. Alcalinidade total e equilíbrio bicarbonatos/carbonatos no stripping com ar do nitrogênio amoniacal contido no percolado de aterros sanitários. Relatório técnico Aquapro engenheiros associados S/C LTDA, 2004.
6. CARRERA, J., BAEZA, J.A., VICENT, T., & LAFUENTE, T. Biological nitrogen removal of high-strength ammonium industrial wastewater with two-sludge system. Water Research, 37 4211–4221, 2003.
7. CASTILHO JR. (org.). Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. PROSAB 4., Ed. Sermograf. Petrópolis, 2006.
8. COLLIVIGNARELLI, C.; BERTANZA, G.; BALDI, M. et al. Ammonia stripping from MSW landfill leachate in bubble reactors: process modeling and optimization. Waste Management & Research, v. 16, pp.455-466, 1998.
9. DIAMADOPOULOS E., 1994. Characterization and treatment of recirculationstabilized leachate, Water Res. 28. 2439–2445.
10. GANIGUÉ, R., LÓPEZ, H., BALAGUER, M.D., COLPRIM, J. Partial Ammonium oxidation to nitrite of high ammonium content urban landfill leachates., Water Research, 41, 3317-3326, 2007.
11. KURNIAWAN, T.A., LO, W., CHAN, G.Y.S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant ocnaminants from landfill leachate, Journal of Hazardous Materials, v. B129, 80-100, 2006.
12. LI, X.Z. & ZHAO, Q.L. Inhibition of microbial activity of activatedn sludge by ammonia in leachate. Environmental International, 25(8) 961–968, 1999.
13. LIAO, P., CHEN, A. LO, K. Removal of nitrogen from swine manure wastewaters by ammonia strinpping. Chemosphere 46, 851–858, 2002.
14. LIDE, D. CRC Handbook of Chemistry and Physics. A Ready-reference Book of Chemical and Physical Data. CRC Press, Boca Raton, 1993.
15. MANNARINO, C.F. Uso de *wetland* sub-superficial no tratamento de efluente de estação de tratamento de lixiviado por lodos ativados. PEAMB, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
16. MARTTINEN, S., KETTUNEN, R., SORMUNEN, K., SOIMASUO, R., RINTALA, J. Screening of physical-chemical methods for removal of organic material, nitrogen and toxicity from low strength landfill leachates, Chemosphere 46, 851-858, 2002.
17. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering, 4 ed. Mc Graw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering New York, USA, 2003.
18. OZTURK, I., ALTINBAS, M., KOYUNCU, I., ARIKAN, O., & GOMEZ-YANGIN, C.. Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. Waste Management, 23, 441–446, 2003.
19. RIES, K.; MARIA, G.; DUNSETH, R.G. Ultimate Disposal of Phosphate from Waste Water by Recovery Fertilizer. U.S. Department of the Interior. Fed. Wat. Poll. Cont. Adminis. Phase I - Final Report. pp.5-154, 1969.