

## III-166 - AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE *STRIPPING* DA AMÔNIA COMO PRÉ-TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS

**Julio Cezar Rietow**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela PUC-PR. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

**Maurício Yukio Yamanari Nagashima**<sup>(2)</sup>

Aluno de Graduação em Engenharia Civil pela UFPR.

**Priscila Luana de Deus**<sup>(3)</sup>

Técnica em Química Industrial pelo Centro Estadual de Educação Profissional de Curitiba (CEEP). Aluna de Graduação em Engenharia Química pela UFPR.

**Ellen Caroline Baettker**<sup>(4)</sup>

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UTFPR. Doutoranda do PPGERHA na UFPR.

**Miguel Mansur Aisse**<sup>(5)</sup>

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica (EP USP). Professor do PPGERHA na UFPR.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Centro Politécnico, Setor de Tecnologia, Bloco V - Jardim das Américas - Curitiba - PR - CEP: 81531-990 - Tel: +55 (41) 3361-3144 - e-mail: [julio.rietow@ufpr.br](mailto:julio.rietow@ufpr.br)

### RESUMO

A elevada concentração de nitrogênio amoniacal no lixiviado de aterros sanitários interfere significativamente nos processos biológicos de tratamento. Deste modo, processos de pré-tratamento físico-químicos estão sendo empregados para a remoção total ou parcial desse composto. No lixiviado, o nitrogênio amoniacal pode se apresentar tanto na forma de íon ( $\text{NH}_4^+$ ), para valores de pH abaixo de 7, quanto na forma de amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), para valores de pH acima de 7, sendo esta última de fácil remoção quando empregados sistemas de agitação. De posse de tal constatação o processo de *stripping*, ou arraste de amônia, surge como uma tecnologia de pré-tratamento viável para ser empregada a montante de tratamentos biológicos. Sendo assim, o presente artigo teve como objetivo avaliar a aplicação da operação de *stripping* mecânico, em jar-test, de um lixiviado de aterro sanitário submetido a diferentes valores de pH. O gradiente de velocidade empregado no ensaio foi de  $340 \text{ s}^{-1}$  e a densidade de potência aplicada foi igual a  $116 \text{ W.m}^{-3}$ . A concentração inicial de nitrogênio amoniacal no lixiviado em estudo foi de  $2.888 \text{ mg.L}^{-1}$  e o pH apresentou um valor igual a 8,18. A taxa de remoção de nitrogênio amoniacal do lixiviado, durante os ensaios de *stripping*, para um pH igual a 10, foi de 10 a  $11 \text{ mg N-NH}_3.\text{L}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (remoção total em aproximadamente 11 dias). Já para um lixiviado com pH igual a 9, a taxa de remoção de tal composto foi de 9,2 a  $10 \text{ mg N-NH}_3.\text{L}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (remoção total em aproximadamente 13 dias). Para o pH natural do lixiviado (pH=8,18), a taxa de remoção de nitrogênio amoniacal foi de 7 a  $7,5 \text{ mg N-NH}_3.\text{L}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (remoção total em aproximadamente 17 dias). No presente artigo, também foi estudado a perda natural de nitrogênio amoniacal do lixiviado, ou seja, sem o processo de *stripping*. A taxa de remoção para tal ensaio foi igual a 4,2 a  $4,4 \text{ mg N-NH}_3.\text{L}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (remoção total em aproximadamente 27 dias). Por fim, os resultados do processo de *stripping* ainda indicaram a redução da matéria orgânica presente no lixiviado, com eficiências de remoção de DQO que variaram de 42 a 50%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado de Aterro Sanitário, Nitrogênio Amoniacal, Pré-Tratamento, *Stripping* Mecânico, Densidade de Potência.

### INTRODUÇÃO

A degradação biológica da fração orgânica dos resíduos depositados em aterros sanitários e a infiltração de águas pluviais são responsáveis pela produção de um líquido de cor escura denominado lixiviado [1]. Caracterizado por ser uma matriz aquosa de extrema complexidade, o lixiviado apresenta em sua composição

elevados teores de compostos orgânicos e inorgânicos, presentes, principalmente, nas formas dissolvida e coloidal [2]. As características físicas, químicas e biológicas do lixiviado dependem de uma série de fatores, tais como o tipo de resíduo depositado no aterro, o grau de decomposição da fração biodegradável, o clima, a estação do ano, a idade do aterro, entre outros. Isto posto, pode-se afirmar que a composição do lixiviado varia consideravelmente de aterro para aterro [3].

O tratamento do lixiviado pode se dar tanto por processos biológicos quanto por processos físico-químicos. Os recursos financeiros necessários para a construção e operação de sistemas biológicos de tratamento são tipicamente menos onerosos que aqueles exigidos por processos físico-químicos. Entretanto, o tratamento biológico do lixiviado ainda carece de melhorias no que diz respeito à remoção de nitrogênio amoniacal, metais pesados e compostos recalcitrantes [4].

As elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal no lixiviado estão relacionadas com a quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos aterrados, além disso, fontes como fertilizantes, produtos de limpeza e preservantes de madeira também podem contribuir com essa concentração [5]. O nitrogênio amoniacal, em uma solução aquosa como o lixiviado, pode existir tanto na forma de íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) quanto na forma de amônia livre ( $\text{NH}_3$ ). A predominância de uma dessas formas está relacionada com o pH do meio, sendo que em níveis de pH acima de 7 há uma maior concentração de  $\text{NH}_3$ . Já em níveis de pH inferiores a 7 há uma maior concentração de  $\text{NH}_4^+$  [6].

A presença de nitrogênio amoniacal em um ambiente de degradação biológica pode ser benéfica até certo ponto, pois muitos microrganismos a utilizam como fonte de nitrogênio. Porém, quando em elevadas concentrações, o nitrogênio amoniacal pode ser caracterizado como tóxico, inibindo, assim, os processos biológicos de tratamento. Estudos realizados em sistemas anaeróbios de tratamento comprovaram que concentrações de  $\text{NH}_3$ , acima de  $150 \text{ mg.L}^{-1}$ , e de  $\text{NH}_4^+$ , superiores a  $3.000 \text{ mg.L}^{-1}$ , são tóxicas aos microrganismos metanogênicos [6, 7, 8]. Em vista disso, processos físico-químicos têm sido aplicados à montante de tratamentos biológicos com o intuito de reduzir parte da carga de nitrogênio amoniacal e compostos recalcitrantes presentes no lixiviado. Dentre os processos físico-químicos existentes, o *stripping* tem se destacado devido às significativas taxas de remoção de nitrogênio amoniacal e também aos custos reduzidos de operação e manutenção desse tipo de sistema.

O conceito do processo de *stripping* está relacionado com o arraste da amônia livre presente no lixiviado devido à agitação do meio. Tal agitação realizada em um reator, ou tanque de mistura, proporciona a circulação e o cisalhamento do fluido, fazendo então com que o  $\text{NH}_3$  seja dissipado ou arrastado do sistema. O desempenho de um sistema de *stripping* é influenciado diretamente pelo pH, temperatura do meio líquido e pelas condições de agitação impostas [9]. Quanto maior o pH e a temperatura do meio líquido maior será a concentração de nitrogênio amoniacal na forma livre, permitindo, desse modo, uma maior remoção dessa substância. Uma das grandes vantagens desse processo também está relacionada com o controle da quantidade de amônia que se deseja remover do lixiviado, possibilitando, assim, seu correto tratamento a jusante por meio de processos biológicos [6].

Deste modo, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o processo de *stripping* mecânico da amônia presente no lixiviado, com o intuito de destacar as possíveis configurações operacionais (pH, temperatura e agitação) a serem empregadas por gestores de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto (ETEs), que realizam a codisposição dessa água residuária.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da presente pesquisa foi utilizado o lixiviado gerado no aterro da Estre Ambiental localizado no Bairro Santa Terezinha, Fazenda Rio Grande – PR. O aterro é responsável por atender a 21 municípios da região metropolitana de Curitiba (RMC) e está em operação desde 2010. Ao todo, são descarregados diariamente mais de 1.500 toneladas de resíduos, sendo somente recebidos os de classe 2 (não perigosos). Em média, o aterro é responsável por produzir  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  de chorume. Para a condução da pesquisa, o lixiviado foi coletado e armazenado em galões de 30 L, sendo então transportado para laboratório e mantido sob refrigeração a  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Os ensaios do processo de *stripping* mecânico da amônia presente no lixiviado foram realizados em três configurações distintas. A primeira consistia na adição do alcalinizante hidróxido de sódio (NaOH - 32%) no lixiviado para elevação do pH até 10. A segunda configuração também empregou a adição do alcalinizante fazendo com que o pH do lixiviado se elevasse até 9,0. O volume de NaOH utilizado na primeira configuração para elevar o pH do lixiviado até 10 foi de aproximadamente 35 mL.L<sup>-1</sup>, sendo na segunda configuração necessário para elevar o pH até 9,0 cerca de 10 mL.L<sup>-1</sup>. A terceira e última configuração envolvendo o processo de *stripping* não adicionou o alcalinizante, sendo então utilizado no ensaio o pH natural do lixiviado.

As três configurações concebidas utilizaram nos ensaios de *stripping* um agitador Jar Test (teste de jarros), da marca Ethik Technology, modelo 218/06, contendo 6 jarros com graduação e saída para coletor posicionada a 7 cm do nível de líquido. A velocidade angular das pás verticais do equipamento foram configuradas para trabalhar em 200 rpm, equivalente a um G (gradiente de velocidade) de aproximadamente 340 s<sup>-1</sup>. O G empregado na presente pesquisa está entre os valores típicos do processo de floculação (25 a 200 s<sup>-1</sup>) e de mistura (500 a 7.500 s<sup>-1</sup>) aplicados em tratamento de águas e esgotos [6].

O volume de lixiviado utilizado em cada jarro foi de 2 L. A densidade de potência aplicada, calculada a partir das equações 1 e 2, foi de 116 W.m<sup>-3</sup>. Por fim, um quarto ensaio objetivou avaliar as potenciais perdas naturais de amônia no lixiviado sem a adição de alcalinizante e sem o processo de agitação.

$$P = G^2 \cdot \mu \cdot V \quad \text{Equação (1)}$$

$$d = P/V = G^2 \cdot \mu \cdot 10 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$P$  = potência introduzida no sistema (kgf.m.s<sup>-1</sup>);

$G$  = gradiente de velocidade (s<sup>-1</sup>);

$\mu$  = viscosidade dinâmica do lixiviado (adotado 1,029.10<sup>-4</sup> kgf.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup> para uma temperatura de 20°C);

$V$  = volume do sistema (m<sup>3</sup>);

$d$  = densidade de potência (W.m<sup>-3</sup>).

Os ensaios foram realizados em triplicata permitindo a reprodutibilidade e repetibilidade de cada configuração avaliada. Sendo assim, conforme representado na Figura 1, os jarros enumerados de 1 a 3 ensaiaram o *stripping* da amônia com o pH do lixiviado igual a 10. Já os jarros de 4 a 6 utilizaram o lixiviado de pH igual a 9. O *stripping* realizado nos jarros de 7 a 9 utilizaram o lixiviado com pH natural. Finalmente, os jarros de 10 a 12 não sofreram o processo de *stripping* e também utilizaram o lixiviado com pH natural. A análise estatística realizada na presente pesquisa adotou os parâmetros de média aritmética, desvio-padrão ( $\delta$ ) e taxas (valores máximos e mínimos).

A caracterização do lixiviado bruto foi realizada de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 2005 [10]. Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, nitrogênio amoniacal, fósforo, pH, alcalinidade, sólidos totais, sólidos totais voláteis e sólidos totais fixos. Após o ensaio de *stripping* foram realizadas análises de DQO e alcalinidade nos jarros. Tal procedimento foi realizado a fim de verificar a potencial remoção de matéria orgânica presente no lixiviado e, ainda, se houve o consumo de alcalinidade durante o período em análise.

Os ensaios de *stripping* foram conduzidos até a estabilização ou completa remoção de amônia do lixiviado. Para a avaliação da eficiência de remoção da amônia foram coletadas alíquotas de cada jarro em intervalos de tempo regulares. Adicionalmente, a cada coleta eram também anotados o pH e a temperatura do lixiviado ensaiado por meio de um pHmetro portátil da marca Kasvi, modelo K39-0014PA, com exatidão de leitura de pH  $\pm 0,1$  e de temperatura  $\pm 1,0$  °C.

O método utilizado nos ensaios para a avaliação da concentração de nitrogênio amoniacal foi o titulométrico com etapa preliminar de destilação. O método citado garante por meio da adição de um alcalinizante (elevação do pH) a predominância do nitrogênio amoniacal na forma de amônia livre. Ainda, soluções padrões de cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) foram utilizadas para estimar o erro do método empregado. Partindo-se da destilação de

25 mL de cada solução padrão, com faixas de concentração de nitrogênio amoniacal variando de 50 a 100 mg.L<sup>-1</sup>, o erro encontrado foi de 1,04%.

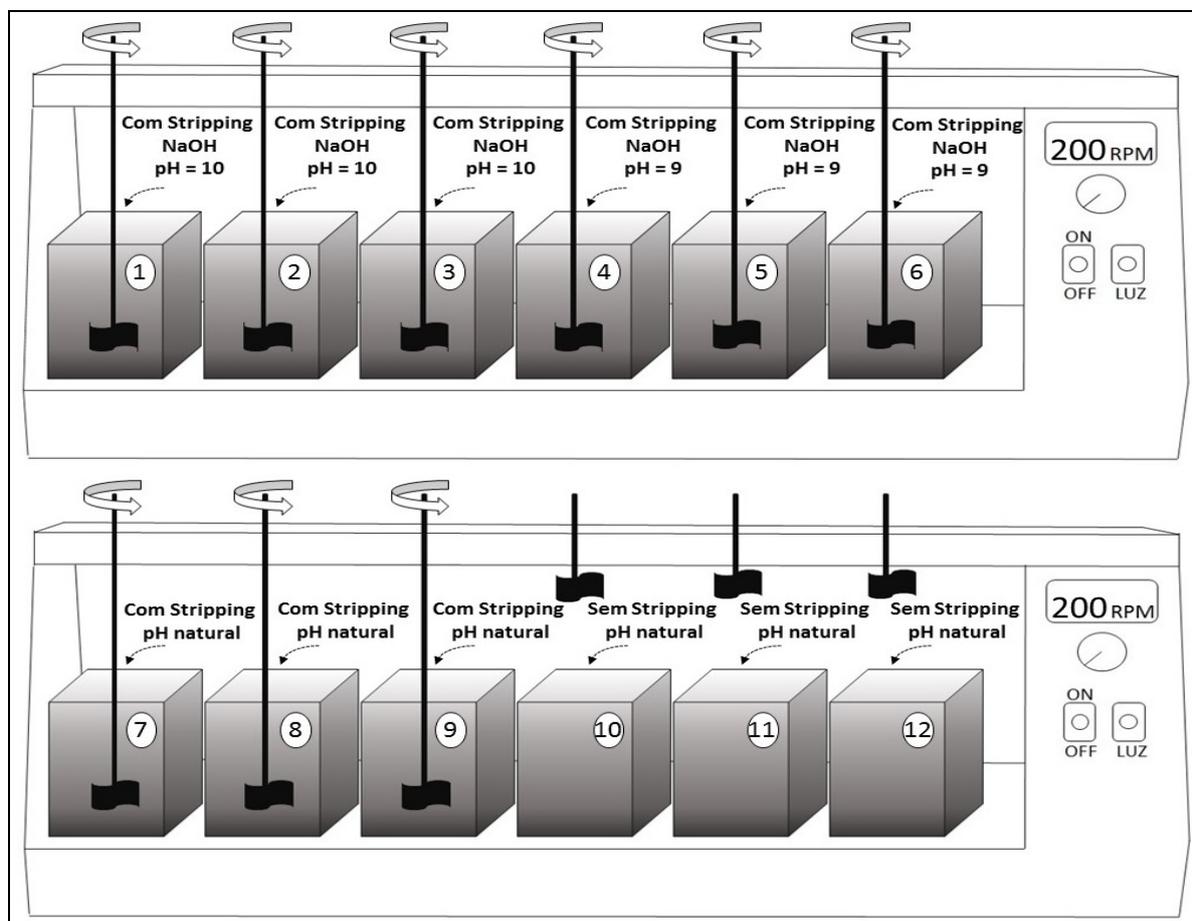


Figura 1: Configurações dos ensaios de *stripping* da amônia presente no lixiviado realizados em agitadores Jar Test.

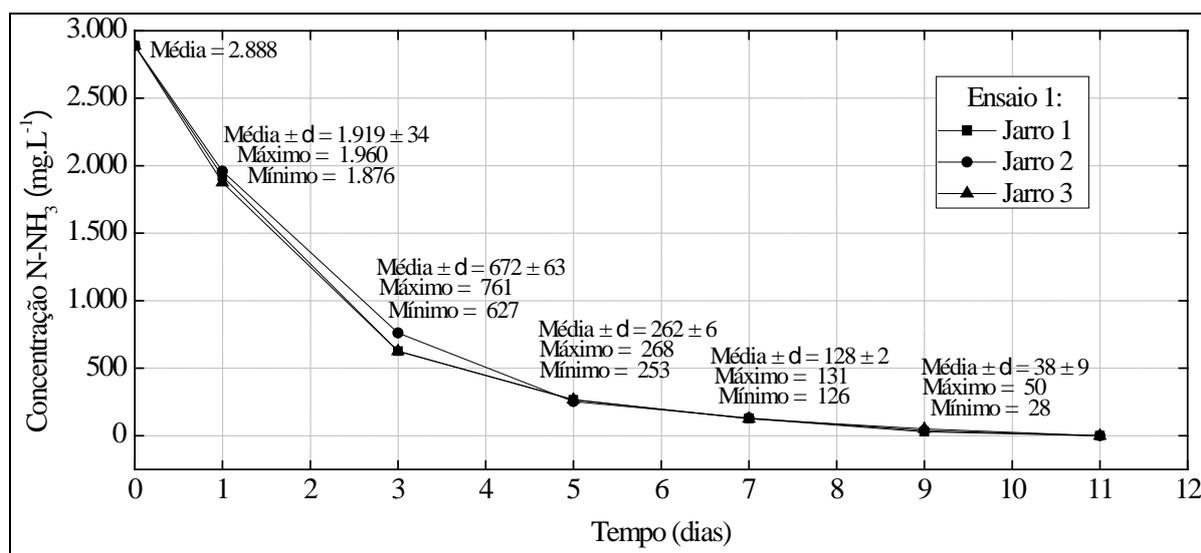
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das características físico-químicas do lixiviado, produzido no aterro da Estre Ambiental e coletado no mês de agosto de 2016. De acordo com os resultados o lixiviado apresentou baixa relação DBO/DQO ( $\approx 0,2$ ), indicando, possivelmente, uma elevada concentração de compostos recalcitrantes. No que tange a concentração de nitrogênio amoniacal, foco da presente pesquisa, o lixiviado em estudo denotou elevada concentração deste parâmetro, apresentando-se significativamente acima da faixa mais provável para aterros brasileiros [11].

Tabela 1: Características físico-químicas do lixiviado da Estre Ambiental utilizado nos ensaios.

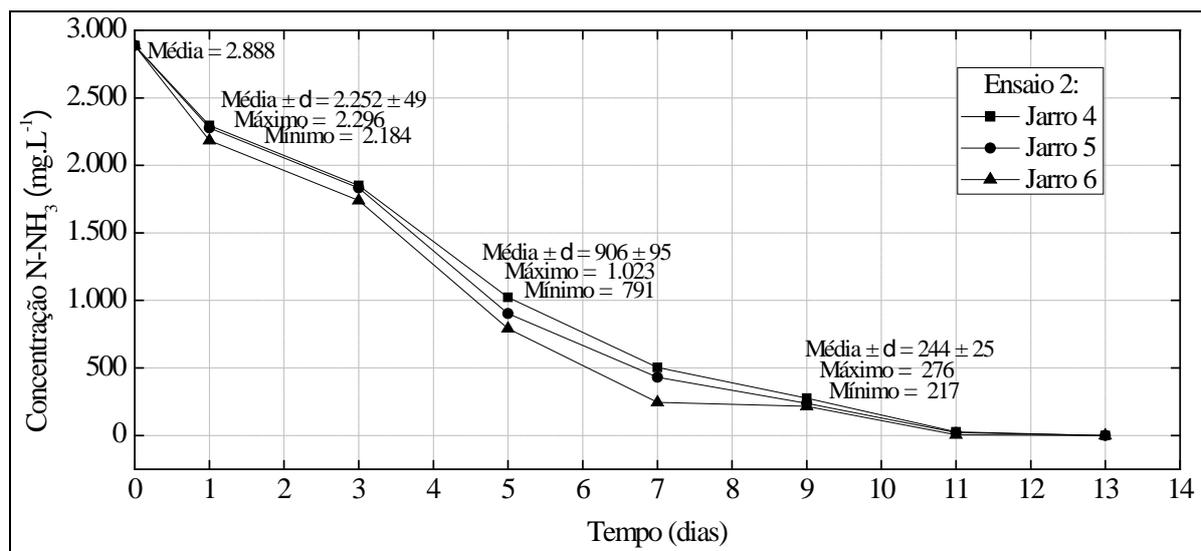
PARÂMETROS	VALORES
DBO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	1.321
DQO (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	7.458
Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	2.888
Fósforo (mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> .L <sup>-1</sup> )	7,07
pH	8,18
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	10.485
Sólidos Totais (mg ST.L <sup>-1</sup> )	13.015
Sólidos Totais Voláteis (mg STV.L <sup>-1</sup> )	3.438
Sólidos Totais Fixos (mg STF.L <sup>-1</sup> )	9.577

O emprego de pré-tratamento, por meio do *stripping* da amônia, pode ser vislumbrado como uma alternativa para que possíveis processos biológicos sejam utilizados no tratamento do lixiviado. Para tanto, a presente pesquisa realizou quatro ensaios onde foram avaliadas as taxas de remoção de nitrogênio amoniacal do lixiviado. Nesse sentido, o primeiro ensaio submetido ao processo de *stripping* e com pH inicial igual a 10 apresentou uma taxa de remoção de nitrogênio amoniacal que variou entre 10 a 11 mg N-NH<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Na Figura 2 é apresentado o perfil da concentração de nitrogênio amoniacal do ensaio 1 até a sua total remoção realizada em um período de 11 dias. A temperatura média do lixiviado nos jarros 1, 2 e 3, durante o ensaio, foi de 23,0 ± 1,9 °C. Já o pH, que inicialmente era igual a 10, acabou decaindo para valores entre 9,6 e 9,7.



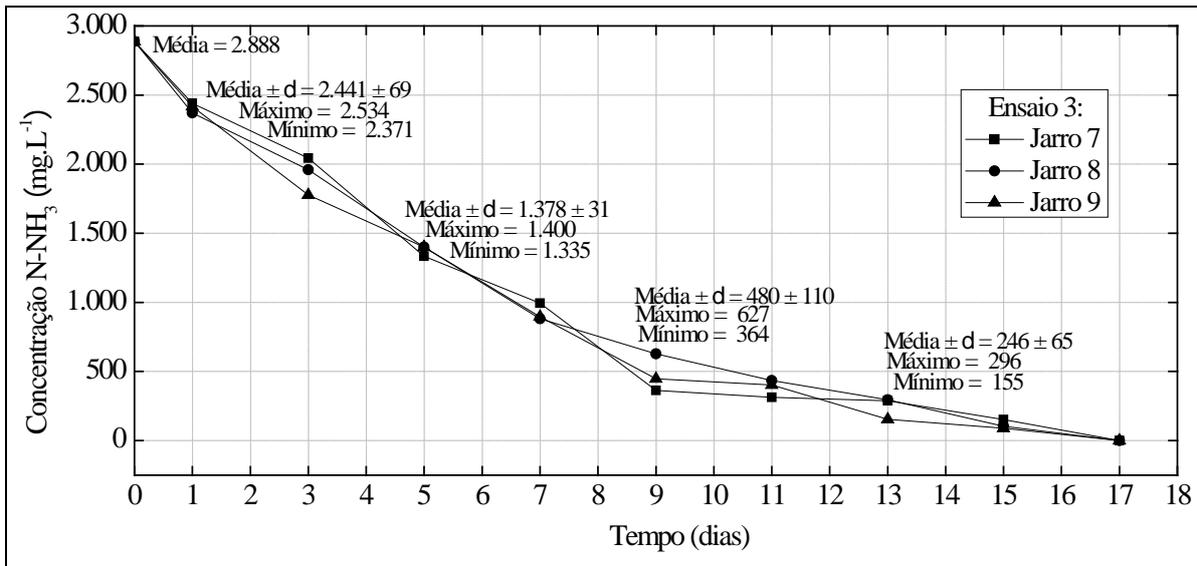
**Figura 2:** Perfil temporal da concentração de nitrogênio amoniacal do ensaio 1 submetido ao processo de *stripping* em Jar Test (pH inicial = 10; G = 340 s<sup>-1</sup>; temperatura média do lixiviado = 23,0 ± 1,9 °C).

Os jarros 4, 5 e 6, utilizados no ensaio 2, apresentaram uma taxa de remoção de nitrogênio amoniacal que variou entre 9,2 a 10 mg N-NH<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Destacado na Figura 3, a remoção completa do nitrogênio amoniacal se deu em um período de 13 dias. A temperatura média do lixiviado durante o ensaio foi, em média, de 25,9 ± 1,1 °C. Já o pH do lixiviado, inicialmente igual a 9, aumentou para valores entre 9,3 e 9,5.



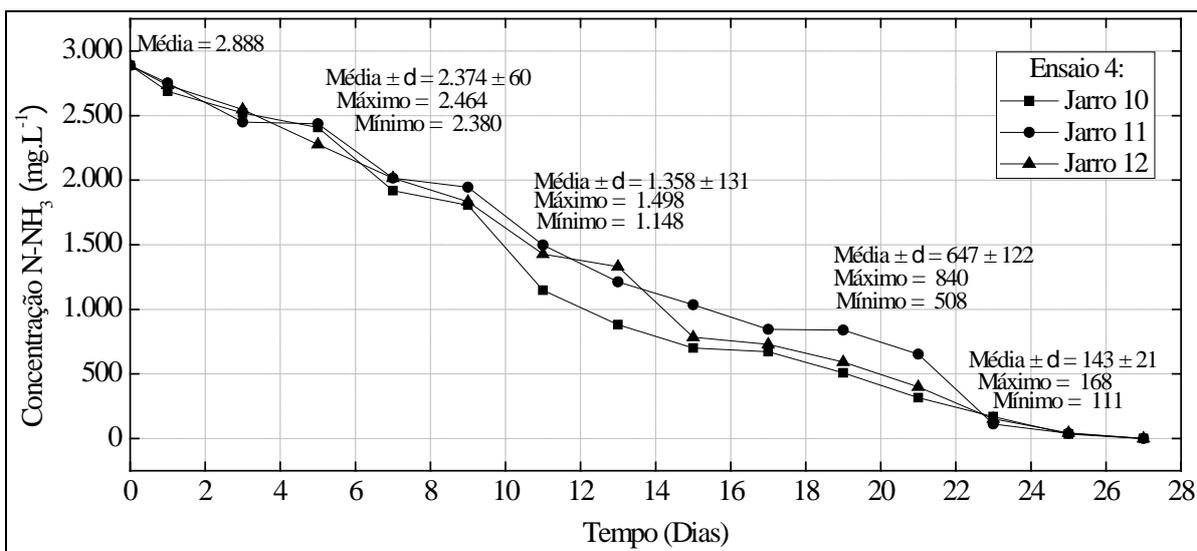
**Figura 3:** Perfil temporal da concentração de nitrogênio amoniacal do ensaio 2 submetido ao processo de *stripping* em Jar Test (pH inicial = 9; G = 340 s<sup>-1</sup>; temperatura média do lixiviado = 25,9 ± 1,1 °C).

O ensaio 3, composto pelos jarros 7, 8 e 9, apresentou uma taxa de remoção de nitrogênio amoniacal que variou entre 7 a 7,5 mg N-NH<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. A remoção completa do nitrogênio amoniacal se deu em um período de 17 dias, conforme apresentado na Figura 4. O pH do lixiviado, que inicialmente era igual a 8,18, aumentou significativamente durante o ensaio para valores entre 9,3 e 9,5. A temperatura média do lixiviado foi, em média, de 24,1 ± 2,2 °C. Os resultados da taxa de remoção de nitrogênio amoniacal mostraram-se praticamente o dobro do que aqueles encontrados por Queiroz et al. (2011), tendo tais autores estudado a remoção de nitrogênio amoniacal do lixiviado (pH inicial igual a 8,1; G = 340 s<sup>-1</sup>; temperatura entre 22 e 26 °C) em um reator submetido à agitação mecânica [9].



**Figura 4:** Perfil temporal da concentração de nitrogênio amoniacal do ensaio 3 submetido ao processo de *stripping* em Jar Test (pH inicial = 8,18; G = 340 s<sup>-1</sup>; temperatura média do lixiviado = 24,1 ± 2,2 °C).

Por fim, o ensaio 4, cujo lixiviado não sofreu processo de *stripping* e também não se realizou a adição de alcalinizante, apresentou uma taxa de remoção de nitrogênio amoniacal, para um período de 27 dias, que variou entre 4,2 a 4,4 mg N-NH<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Na figura 5 é apresentado o perfil temporal de decaimento da concentração de nitrogênio amoniacal do ensaio 4. Assim como no ensaio 3, o pH final do lixiviado aumentou de 8,18 para valores entre 9,3 e 9,5. A temperatura média do lixiviado foi, em média, igual a 24,5 ± 1,4 °C.



**Figura 5:** Perfil temporal da concentração de nitrogênio amoniacal do ensaio 4 sem processo de *stripping* (pH inicial = 8,18; temperatura média do lixiviado = 24,5 ± 1,4 °C).

Após a realização do *stripping* foram realizadas análises de DQO e de alcalinidade nos ensaios em estudo (Figura 6). Desse modo, constatou-se uma redução na concentração de matéria orgânica presente no lixiviado ao longo do processo de pré-tratamento. No ensaio 1 houve uma eficiência de redução de DQO de aproximadamente 50%. Já para os ensaios 2 e 3 a redução desse parâmetro ficou entre 45 e 42%, respectivamente. No ensaio 4 observou-se uma redução de 34% na concentração de DQO. Cabe destacar que a elevada eficiência na redução de matéria orgânica também pode estar associada ao longo tempo de realização dos ensaios, ou, ainda, devido à incorporação de ar no meio líquido, favorecendo a volatilização de compostos orgânicos voláteis presentes no lixiviado [12,13].

Tratando-se da concentração da alcalinidade ao longo da condução dos experimentos constatou-se também a redução desse parâmetro nos jarros analisados. O ensaio 1 apresentou um consumo de alcalinidade da ordem de 52%. Os ensaios 2 e 3 apresentaram um consumo de 42 e 39%, respectivamente. Por fim, o ensaio 4 apresentou um consumo de 22% de alcalinidade. A principal explicativa reportada na literatura para tal consumo é a elevada concentração de sais presentes no lixiviado, bem como, o potencial iônico do sistema, podendo tais fatores contribuir diretamente para a redução do sistema de tamponamento do meio [9, 14, 15].

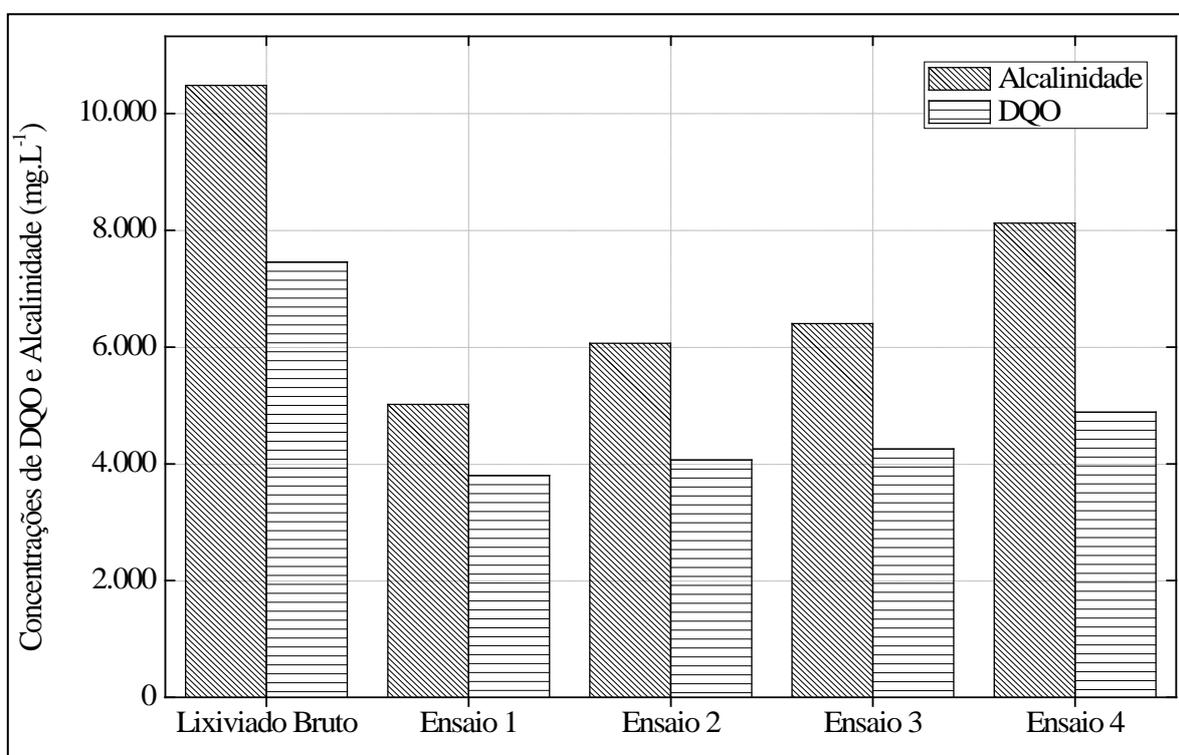


Figura 6: Concentração de DQO e Alcalinidade do lixiviado antes (lixiviado bruto) e após o processo de pré-tratamento no ensaio 1 (pH inicial = 10 com *stripping*), ensaio 2 (pH inicial = 9 com *stripping*), ensaio 3 (pH inicial = 8,18 com *stripping*) e ensaio 4 (pH inicial = 8,18 sem *stripping*).

## CONCLUSÕES

Com o intuito de remover total ou parcialmente a carga de nitrogênio amoniacal presente no lixiviado, o processo de *stripping* mecânico (ensaios 1, 2 e 3) mostrou-se satisfatório apresentando taxas de remoções que variaram de 7 a 11 mg N-NH<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Pode-se ainda observar a redução do período do processo de *stripping* quando utilizado o NaOH como agente alcalinizante. Com exceção do ensaio 1, todos os outros ensaios apresentaram significativa elevação do pH do meio, favorecendo, assim, um maior arraste de amônia. As temperaturas durante o período dos ensaios (23,0 a 25,9°C) também favoreceram uma maior remoção de nitrogênio amoniacal. Tal fator, somado com o longo período de duração do experimento, pode ter contribuído para a perda natural de nitrogênio amoniacal no ensaio 4. Adicionalmente, todos os ensaios apresentaram uma redução significativa da concentração de DQO e de alcalinidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e Fundação Araucária (FA) pelo aporte financeiro realizado nas pesquisas desenvolvidas por meio do Programa Paranaense de Pesquisa em Saneamento (PPSA). Estende-se aqui os agradecimentos para a empresa Estre Ambiental, em especial para os colaboradores do Centro de Gerenciamento de Resíduos (CGR) Iguazu - Fazenda Rio Grande, que permitiram a realização da coleta do lixiviado. Por fim, não poderíamos deixar de agradecer a todos os discentes, docentes e funcionários do PGERHA que contribuíram direta ou indiretamente para com a presente pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Geração e características do lixiviado. In: GOMES, L. P. (coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, 2009.
2. KJELDSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. *Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. Environmental Science and Technology*. v. 32, 2002.
3. REINHART, D. R.; GROSH, C.J. *Analysis of Florida MSW landfill leachate quality. University of Central Florida*, 1998.
4. AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C. F. A.; LANGE, L. C.; et al. (2008) Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterro sanitários. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. [online]. v.13, n.1, p. 38-45.
5. FLECK, E., 2003. Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e wetland construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação (Mestrado), UFRGS.
6. METCALF & EDDY, 2016, Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Tradução: Hespagnol, I; Mierzwa, J. C. 5ª ed., Porto Alegre: AMGH.
7. McCARTY, P. L. *Anaerobic waste treatment fundamentals. Public Works*, 1964.
8. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2ª ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.
9. QUEIROZ, L. M.; AMARAL, M. S.; MORITA, D. M.; YABROUDI, S. C.; SOBRINHO, P. A. Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.16 n.4, 2011.
10. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21st.ed. Washington, EUA.
11. SOUTO, G. B.; POVINELLI, J. Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.
12. LEITE, V. D.; FERNANDES, F.; JUCÁ, J. F. T.; GOMES, L. P.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; SILVA, F. M. S.; CAETANO, M. O. Estudo do processo de stripping de amônia de lixiviado de aterro sanitário. In: GOMES, L. P. (coord.). Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, 2009.
13. OZTURK, I. *Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. Waste management*, v. 23, 2003.
14. STUMM, W.; MORGAN, J. J. (1996) *Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1022p.
15. WERSIN, P.; CHARLET, L.; KARTHEIN, R.; et al. (1989) *From adsorption to precipitation: Sorption of Mn<sup>2+</sup> on FeCO<sub>3</sub>. Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 53, p. 2787-2796.