

## **APLICAÇÃO DE CONDUTO CORRUGADO EM AIR STRIPPING DE NITROGÊNIO AMONIAICAL**

**ABEL SIDNEY BRAVIN JUNIOR<sup>1\*</sup>, THALITA PEREIRA DELDUQUE<sup>2</sup>, KÁTIA VALÉRIA MARQUES CARDOSO PRATES<sup>3</sup>, AJADIR FAZOLO<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Estudante de graduação em Engenharia Ambiental, UTFPR, Londrina-PR, abelbravin@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Mestranda em Engenharia Ambiental, UTFPR, Londrina-PR, thalitadelduque7@hotmail.com

<sup>3</sup>Dra. em Ciência Ambiental, Profa. DAAMB, Londrina-PR, kvprates@gmail.com

<sup>4</sup>Dr. em Hidráulica e Saneamento, Prof. DAAMB, Londrina-PR, afazolo@utfpr.edu.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi construir e testar um sistema inovador para remoção do nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) de água residuária, por *air stripping*, utilizando-se conduto corrugado (diâmetro interno 3" e 10m de comprimento) disposto de forma helicoidal. Foi avaliada a influência da vazão do ar (Qar) variando entre 1000 e 2000 Lmin<sup>-1</sup>, vazão do líquido (Qliq) na faixa de 0,5 a 1,0 Lmin<sup>-1</sup> e pH entre 9 e 12 na remoção de N-NH<sub>3</sub> de efluente sintético (20 ensaios), seguindo-se planejamento estatístico Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As análises estatísticas, ao nível de confiança de 95%, indicaram o efeito positivo da elevação do pH e Qar no desempenho do sistema. Os melhores resultados (eficiência de remoção de 70,9%) foram obtidos em Qar de 2000 Lmin<sup>-1</sup>, Qliq de 0,5 Lmin<sup>-1</sup> e pH igual a 12. Além disso, comparando-se com as torres de *air stripping* convencionais o sistema estudado necessita menor altura manométrica de elevação da água residuária, baixa perda de carga no escoamento do ar pela ausência de recheio, elevado tempo de contato líquido-ar favorecendo a transferência da amônia da água para o gás de arraste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conduto corrugado, amônia, *air stripping*, nitrogênio.

### **APPLICATION OF CORRUGATED CONDUIT ON AMMONIA AIR STRIPPING**

The objective of this study was to build and test an innovative system for the removal of ammonia nitrogen (NH<sub>3</sub>-N) from wastewater through a corrugated conduit (inner diameter 3" and 10m long) arranged helically. There were made evaluations of the air flow (Qar) as ranging between 1000 and 2000 Lmin<sup>-1</sup>, of the liquid flow (Qliq) in the range from 0.5 to 1.0 Lmin<sup>-1</sup> and of the pH between 9 and 12 in the removal of synthetic sewage N-NH<sub>3</sub> (20 trials), followed by the statistical planning Rotatable Central Composite Design (RCCD). The statistical analyses, whose confidence level is 95%, indicated the positive effect of raising the pH and Qar in the systems' performance. The best results (70.9% removal efficiency) were obtained in Qar 2000 Lmin<sup>-1</sup>, Qliq 0.5 Lmin<sup>-1</sup> and pH 12. In addition, compared with conventional air stripping towers the studied system needs lower total pressure head, small air pressure drop due to the absence of packing material, high liquid-air contact time improving the ammonia transport from water to the carrier gas.

**KEYWORDS:** corrugated conduit, ammonia, air stripping, nitrogen.

### **INTRODUÇÃO**

Sistemas biológicos de tratamento são aplicados, prioritariamente, na remoção de matéria orgânica e nitrogênio das águas residuárias. Entretanto, vários autores (Chen et al., 2014, Anthonisen et al., 1976, Li e Zhao, 1999, Calli et al., 2005 e Jin et al., 2012) descrevem os efeitos tóxicos e/ou

inibidores das elevadas concentrações de amônia (N-NH<sub>3</sub>) no metabolismo microbiano. Anthonisen et al. (1976), por exemplo, indica que, na nitrificação, a inibição da oxidação de nitrito iniciaria em concentrações de amônia livre na faixa de 0,1 a 1,0 mgN-NH<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>, enquanto que a inibição da oxidação do nitrogênio amoniacal total (NAT) ocorreria em concentrações mais elevadas, de 10 a 150 mgN-NH<sub>3</sub>L<sup>-1</sup>.

Nesses casos, tecnologias que removem parcialmente o N-NH<sub>3</sub> são empregadas com o objetivo de melhorar as características das águas residuárias para posterior tratamento biológico.

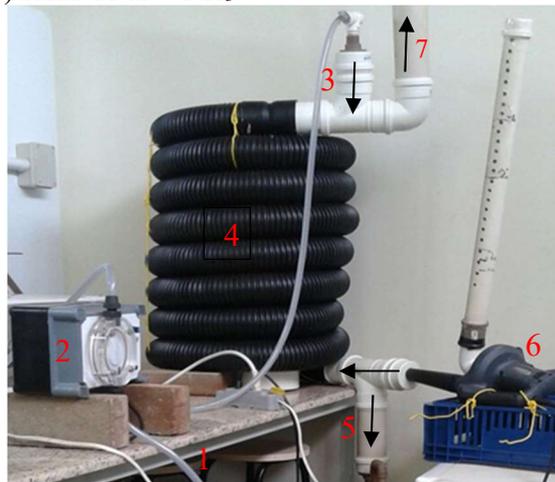
A tecnologia de *air stripping*, que se baseia na transferência da NH<sub>3</sub> da fase líquida (água residuária) para a fase gasosa (gás de arraste, em geral, o ar atmosférico), tem sido empregada em águas residuárias com elevadas concentrações de nitrogênio, tais como em lixiviado de aterro sanitário (Ferraz et al. 2013, Campos et al. 2013, El-Gohary et al. 2013), dejetos de suíno (Bonmati & Flotats, 2003; Zhang & Jahng, 2010; Zhang et al. 2012) e bovinos (Jiang et al. 2014), curtume (O'Brien et al. 1984). No processo, o NH<sub>3</sub> é formado com a elevação do pH da água residuária até 10,8 – 11,5, pela adição de cal (Ca(OH)<sub>2</sub>) ou hidróxido de sódio (NaOH), e em seguida, o líquido é colocado em contato com o ar de arraste em unidades (torres com enchimento) que facilitam a transferência de massa. Essas torres, apresentam como potenciais desvantagens, elevadas alturas (6,1 a 7,5m), perda de carga do escoamento de ar entre 0,12 a 0,16 mca (metro de coluna de água) por metro de torre (totalizando 0,76 a 1,19 mca) o que exige sopradores mais potentes. Também, é relatada incrustação progressiva do enchimento das torres (formação de CaCO<sub>3</sub>) com perda de eficiência na remoção de NH<sub>3</sub> e necessidade de lavagem química (USEPA, 2000, Viotti & Gavasci, 2015).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar um sistema inovador de *air stripping*, construído com conduto corrugados disposto de forma helicoidal como alternativa as torres com enchimento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A instalação experimental (Figura 1) era composta por bomba dosadora (marca Hidrogeron, modelo 303, vazão entre 0 e 1000 mLmin<sup>-1</sup>), soprador de ar (marca Makita, modelo MUB-103, vazão de ar máxima de 2,25 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>) e 10 m de conduto corrugado, diâmetro interno de 3" (≈7,6 cm) e cavidades com aproximadamente 0,5x0,5 cm, disposto de forma helicoidal com declividade de 5,6%.

Figura 1. Instalações experimentais: (1) sucção da água residuária; (2) bomba dosadora; (3) entrada da água residuária no canal corrugado; (4) conduto corrugado helicoidal; (5) saída da água residuária tratada; (6) soprador de ar (7) saída do ar + NH<sub>3</sub>.



Protocolo experimental: Utilizou-se planejamento estatístico Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), descrito por Rodrigues & Iemma (2005), com 03 variáveis independentes: vazão do ar (Q<sub>ar</sub>), vazão do líquido (água residuária) (Q<sub>liq</sub>) e pH (pH).

Parâmetros monitorados: Em cada ensaio, foram monitorados pH, temperatura, e nitrogênio amoniacal de com metodologias descritas em AWWA/APHA/WEF (2005).

Operação do sistema: De acordo com o planejamento experimental, no início de cada ensaio, preparou-se 3 L de solução, adicionando 14,16 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ( $1000 \text{ mg N-NH}_3\text{L}^{-1}$ ) ajustou-se o pH com NaOH, 6M e as vazões do líquido (potenciômetro da bomba) e do ar (anemômetro marca KIMO Instruments, modelo VT 110, precisão  $\pm 3\%$  da leitura).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 sintetiza as condições experimentais e os resultados obtidos.

Tabela 1. Valores codificados e reais para as variáveis independentes e remoções obtidas de N-NH<sub>3</sub>.

Ensaio	Qar (Lmin <sup>-1</sup> )	Qliq (Lmin <sup>-1</sup> )	pH	Qar/Qliq (L/L)	Remoção N-NH <sub>3</sub> (%)
1	-1(1200)	-1(0,60)	-1(9,6)	2000	27,2
2	1(1800)	-1(0,60)	-1(9,6)	3000	32,2
3	-1(1200)	1(0,90)	-1(9,6)	1333	15,8
4	1(1800)	1(0,90)	-1(9,6)	2000	25,0
5	-1(1200)	-1(0,60)	1(11,4)	2000	40,7
6	1(1800)	-1(0,60)	1(11,4)	3000	47,8
7	-1(1200)	1(0,90)	1(11,4)	1333	25,2
8	1(1800)	1(0,90)	1(11,4)	2000	43,1
9	-1,68(1000)	0(0,75)	0(10,5)	1333	25,2
10	+1,68(2000)	0(0,75)	0(10,5)	2666	58,7
11	0(1500)	-1,68(0,50)	0(10,5)	3000	52,4
12	0(1500)	+1,68(1,00)	0(10,5)	1500	41,5
13	0(1500)	0(0,75)	-1,68(9,0)	2000	14,8
14	0(1500)	0(0,75)	+1,68(12,0)	2000	48,4
15	0(1500)	0(0,75)	0(10,5)	2000	32,6
16	0(1500)	0(0,75)	0(10,5)	2000	34,8
17	0(1500)	0(0,75)	0(10,5)	2000	35,6
18	0(1500)	0(0,75)	0(10,5)	2000	37,4
19	0(1500)	0(0,75)	0(10,5)	2000	37,5
20	0(1500)	0(0,75)	0(10,5)	2000	38,5

Pela análise estatística (STATSOFT® 2015) foi possível inferir, ao nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ), que todas as variáveis independentes (Qar, Qliq e pH) influenciaram os resultados. Além disso, foi possível obter e validar modelo matemático das variáveis codificadas estatisticamente significativas, equação (1) (ANOVA  $F_{\text{calculado}} = 14,82 > F_{\text{tabelado } 3; 16; 0,05} = 3,16$ ) e gerar superfície de resposta (Figura 2).

$$\text{Remoção N-NH}_3(\%) = 35,717 + 8,291 \cdot \text{pH} + 6,983 \cdot \text{Qar} - 4,190 \cdot \text{Qliq} \quad (1)$$

O melhor resultado (70,9%) foi obtido com Qar de 2000 Lmin<sup>-1</sup>, Qliq 0,5 Lmin<sup>-1</sup> e pH, 12.

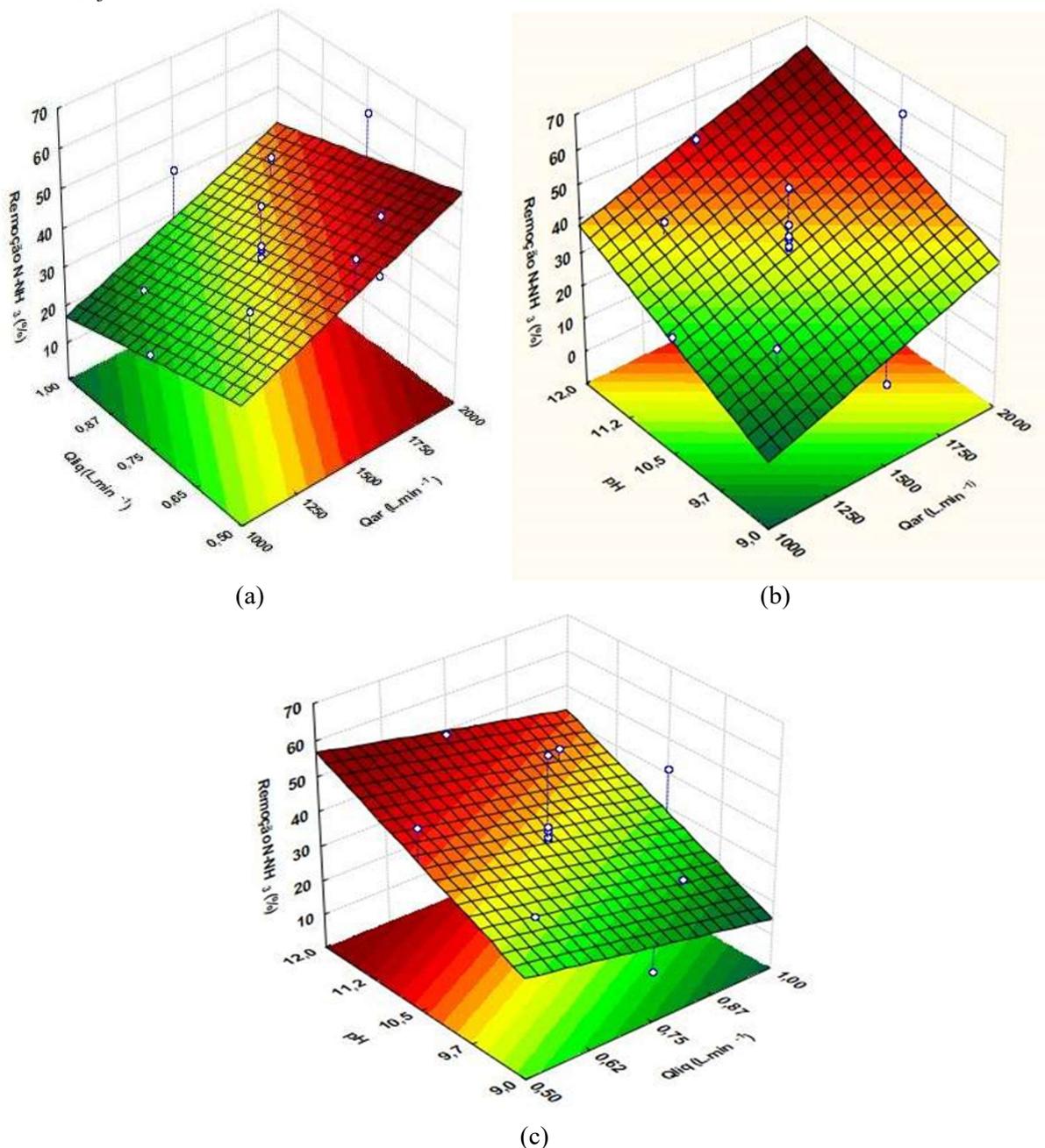
O efeito do pH está relacionado com a fração de NH<sub>3</sub>, forma de passível de ser removido pelo processo de *air stripping*, conforme equação (2) proposta por Emerson *et al.* (1975):

$$\frac{\text{NH}_3}{\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3} (\%) = \frac{100}{1 + 10^{(0,09018 + \frac{2729,92}{T+273,20}) - \text{pH}}} \quad (2)$$

O experimento foi executado a temperatura ambiente (25°C), assim o aumento de NH<sub>3</sub> dependeu principalmente da elevação do pH, atingindo quase 100% em valor próximo a 11,5.

Para a remoção do N-NH<sub>3</sub> é necessário um dispositivo que permita o contato íntimo entre a água residuária e o gás de arraste. Observou-se que, quanto maior Qar e menor Qliq mais eficiente foi a remoção de N-NH<sub>3</sub> pela redução da resistência a transferência de massa. Metcalf & Eddy (2015) por meio de balanço de massa em uma torre com enchimento, a 20°C, estimam a necessidade teórica de 1741 m<sup>3</sup> de ar para cada m<sup>3</sup> de efluente, devendo-se acrescentar na prática, entre 1,5 a 3,0 o volume de ar (2611 a 5223 m<sup>3</sup> ar/ m<sup>3</sup> água residuária). Neste experimento, com Qar/Qliq de 4000 obteve-se 70,9%

Figura 2. Superfície de resposta da influência (a) de Qliq e Qar (b) pH e Qar e (c) pH e Qliq na remoção de N-NH<sub>3</sub>.



de remoção. Para esta vazão de ar, a perda de carga foi de 5 mmca, bastante inferior a verificada em torres convencionais de 0,76 a 1,19 mca para torres com 6,1 a 7,5 m de altura (USEPA,2000). Essa diferença se deve à ausência de obstáculos (recheio) nos condutos corrugados, reduzindo a potência necessária para insuflação de ar. Pode-se inferir que as cavidades dos tubos corrugados possibilitam escoamento com alta turbulência e renovação das superfícies de contato ar-líquido, reduzindo, possivelmente a resistência a transferência de massa. Além disso, a baixa declividade da tubulação (5,6%) e a velocidade do ar (3,8 a 7,4 ms<sup>-1</sup>) em contracorrente, resultam num maior tempo de contato entre o líquido e o ar, favorecendo a remoção da amônia.

Ao final dos experimentos, foram observados pequenos pontos de incrustação, que possivelmente, não interferem nas características do escoamento e transferência de massa no interior do conduto corrugado.

A amônia removida pode ser recuperada em lavador de gases (solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2M) obtendo-se sulfato de amônio, com potencial uso como fertilizante agrícola.

## CONCLUSÃO

A utilização de tubos corrugados dispostos de forma helicoidal pode ser uma alternativa promissora para remoção de poluente por *air stripping*, particularmente a amônia, do ponto de vista construtivo (baixo custo e facilidade de instalação), operacional (menor altura manométrica de elevação da água residuária e perda de carga para insuflação do ar), além de propiciar elevado tempo de contato ar-líquido, com elevada turbulência, favorecendo a remoção da amônia.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – Chamada MCTI/CT-AGRONEGÓCIO/CNPq Nº 38/2013- Fontes alternativas de nutrientes, pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Anthonisen, A.C.; Loehr, R. C.; Prakasam, T. B. S.; Srinath, E.G. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v. 48, n. 5, p. 835 – 852, mai. 1976
- AWWA/APHA/WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005.
- 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.
- Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B., Yenigun, O., Effects of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors. *Process Biochemistry* 40, 1285 - 1292. 2005.
- Campos J.C., Moura D., Costa A.P., Yokoyama, L. Araujo, F.V.F.; Cammarota, M.C.; Cardillo, L. Evaluation of pH, alkalinity and temperature during air stripping process for ammonia removal from landfill leachate. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*;48(9):1105-1113. 2013.
- Chen, J.L.; Ortiz, R.; Steele, T.W.J.; Stuckey, D. C. Toxicants inhibiting anaerobic digestion: A review. *Biotechnology Advances* December; 32(8): 1523–1534. 2014.
- El-Gohary F.A., Khater M., Kamel G.M. Pretreatment of Landfill Leachate by Ammonia Stripping. *Journal of Applied Sciences Research*.9(6):3905-3913. 2013.
- Emerson, K.; Russo, R. C.; Lund, R. E.; Thurston R. V. Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, v. 32 p 2379-2383. 1975.
- Ferraz F.M.; Povinelli, J.; Vieira E.M.; Ammonia removal from landfill leachate by air stripping and absorption. *Environmental Technology*;34(13-16):2317-2326. 2013.
- Jin R-C, Yang G-F, Yu J-J, Zheng P. The inhibition of the anammox process: a review. *Chemical Engineering Journal* 197(15):67–79. 2012.
- Jiang, A.; Zhang, T.; Zhao, Q. B.; Li, X.; Chen, S. Frear, C. S. Evaluation of an integrated ammonia stripping, recovery, and biogas scrubbing system for use with anaerobically digested dairy manure. *Biosystems Engineering*, v. 119, p. 117-126, 2014.
- Li, Xiang Z.; Zhao, Qing L. Inhibition of microbial activity of activated sludge by ammonia in leachate. *Environment International*, v. 25, n. 8, p. 961-968, 1999.
- Metcalf & Eddy. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Tradução Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5ª. ed. AMGH. Porto Alegre. 1980p. 2015.
- O'Brien, D.J.; Senske, G.E., Komanowsky, M. Ammonia removal from deliming effluent by stripping-reabsorption. *Journal of the American Leather Chemists Association*. v. 81 n.4. 3667–3674. 1984.
- Rodrigues, M. I.; Iemma, A. F. *Planejamento de experimentos e otimização de processos*. Campinas: Casa do Pão, 326 p. 2005.
- USEPA. *Wastewater Technology Fact Sheet Ammonia Stripping*. EPA-832-F-00-019. Office of Water Development, U.S. Environmental Protection Agency, 4 p. 2000.
- Viotti, P., GAVASCI, R, Scaling of ammonia stripping towers in the treatment of groundwater polluted by municipal solid waste landfill leachate: study of the causes of scaling and its effects on stripping performance. *Revista Ambiente Água, Taubaté*, v. 10, n. 2, p. 240-252, June 2015 .
- Zhang L., Lee Y., Jahng D. Ammonia stripping for enhanced biomethanization of piggery wastewater. *Journal of Hazardous Materials*.v.199–200. 36–42. 2012.