

III-142 - AVALIAÇÃO TECNO-ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE CAL NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Ronei de Almeida⁽¹⁾

M.Sc em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos – Tecnologia Ambiental – EPQB/EQ/UFRJ. Engenheiro Químico/UFRJ. Doutorando em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos (EPQB/EQ/UFRJ).

Fábio de Almeida Oroski

D.Sc em Engenharia Química – Gestão e Inovação Tecnológica – TPQB/EQ/UFRJ. Engenheiro Químico/UFRJ. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química da Escola de Química/UFRJ.

Juacyara Carbonelli Campos

D.Sc. em Engenharia Química – Tecnologia Ambiental – PEQ/COPPE/UFRJ. Engenharia Química/UFRJ. Professora Associada do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química /UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Av. Athos da Silveira Ramos nº 149, Bloco E, sala E 206 – Centro de Tecnologia – Cidade Universitária – Ilha do Fundão – Rio de Janeiro – RJ – CEP:21941-909 e-mail: ronei@eq.ufrj.br.

RESUMO

O lixiviado é uma matriz aquosa complexa, variável e com elevada concentração de nitrogênio amoniacal. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo, avaliar os aspectos técnicos e econômicos da aplicação de cal no tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Seropédica (RJ). O processo de coagulação-floculação com cal foi avaliado em concentrações de coagulante de 10 a 50 g cal. L⁻¹ para determinação da concentração ideal de coagulante. O tempo de mistura rápida foi de 1 minuto a 150 rpm e mistura lenta durante 30 minutos a 50 rpm. Posteriormente, o lixiviado decantou por 30 minutos. Os ensaios de arraste por fluxo de ar foram conduzidos em batelada em capela de exaustão de gases, utilizando-se um béquer com um volume reacional de 5 litros e compressor de ar modelo Boyu S-500A com vazão de ar de 4 L.min⁻¹. O sobrenadante obtido no processo de coagulação-floculação, em concentração ideal de coagulante, foi aerado através de compressor de ar em vazão de 1,33 L de ar.min⁻¹ por litro de efluente. Em um período de 12h, foram recolhidas amostras a cada 1 h para avaliação da DQO e da concentração de nitrogênio amoniacal do efluente e após 24h, os mesmos parâmetros foram analisados. A estimativa preliminar de custos foi realizada com base nos resultados obtidos nos testes em laboratório e extrapoladas para um sistema real com vazão de tratamento de lixiviado pré-definida, sendo representada, neste trabalho, pelos custos de capital (CAPEX), pelos custos de operação (OPEX) e pelo custo total (CT), e normalizada por unidade de volume de lixiviado tratado. Observou-se que o processo de arraste por fluxo em concentração de 30 g cal.L⁻¹, vazão de aeração de 1,33 L ar.min⁻¹ por litro de efluente e tempo de retenção hidráulica de 24h, apresentou uma eficiência de remoção de cerca de 99% de nitrogênio amoniacal. A concentração de N-NH₃ final do efluente foi de 9,8 mg.L⁻¹, aproximadamente. Em relação a estimativa preliminar de custos, para um período de operação de 40 anos da estação de tratamento de lixiviado através da rota de tratamento proposta, o custo total será de R\$ 5,17 por m³ de efluente tratado. Com o intuito de aprimorar a investigação realizada neste estudo, recomenda-se a avaliação técnica do processo em escala piloto e a cotação dos custos do processo junto a fornecedores para uma estimativa econômica mais assertiva.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, lixiviado, cal, arraste de nitrogênio amoniacal, avaliação tecno-econômica.

INTRODUÇÃO

O lixiviado é uma matriz aquosa potencialmente poluidora e de extrema complexidade, devido sua elevada variabilidade de composição, visto que, seu processo de geração pode ser influenciado pelas características dos resíduos dispostos no aterro (composição gravimétrica, compressividade, permeabilidade, granulometria, peso específico, umidade, etc.), por fatores climáticos (precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura), hidrogeológicos (escoamento superficial, infiltração, topografia e geologia), pelas características da camada de cobertura e pelo método de impermeabilização do local (EL-FADEL *et al.*, 2002; KJELDSEN *et*

et al., 2002). Portanto, para seu tratamento, é necessário uma combinação de processos, de forma a adaptar-se às variações de composição e volume de efluente gerado. Desta forma, o tratamento do efluente torna-se igualmente complexo e oneroso.

De acordo com a literatura revisada, uma característica comum observada nos lixiviados de aterros brasileiros é a elevada concentração de nitrogênio, encontrado principalmente na forma amoniacal (FERRAZ *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2017; LINS *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2004; RODRIGUES *et al.*, 2009). A presença de nitrogênio amoniacal (N-NH_3) em lixiviados de aterros sanitários representa um grande risco de poluição das águas superficiais e subterrâneas. Despejos com elevada concentração de nitrogênio lançados em corpos hídricos sem prévio tratamento podem provocar eutrofização, depleção de oxigênio dissolvido e efeitos tóxicos à fauna aquática (METCALF & EDDY, 2003).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, na Seção II dita as condições e padrões de lançamento de efluentes, no Artigo 16 cita que “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos”, ficam incluídos no Parágrafo 1º, os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos e, definido o padrão de descarte de 20 mg.L^{-1} para N-NH_3 .

Dentre os processos empregados no tratamento do lixiviado destacam-se os processos biológicos (sistemas de lagoas, lodos ativados e reatores biológicos aeróbios e anaeróbios), os processos físico-químicos (oxidação química, adsorção, flotação, coagulação-floculação e precipitação química) (RENOU *et al.*, 2008) e estações de tratamento de esgotos (ETE) que operam tratando o lixiviado em conjunto com esgotos sanitários (ZHANG, 2013). Salienta-se que os processos físico-químicos incluem a redução de sólidos em suspensão, partículas coloidais, cor e/ou compostos tóxicos. Normalmente, são utilizados adicionalmente na linha de tratamento da estação (pré-tratamento ou polimento final) ou para tratar um poluente específico, como por exemplo, arraste por fluxo de ar para remoção de nitrogênio amoniacal (SILVA *et al.*, 2004).

Existem diversos estudos a respeito da utilização de coagulação-floculação no tratamento de lixiviados e efluentes em geral, visando a otimização do tratamento, como por exemplo, a seleção do coagulante mais adequado, a identificação de condições experimentais ótimas e a avaliação do efeito do pH (FERREIRA, 2013; FRANCO, 2009; LIMA, 2017; SILVA, 2017). Em contrapartida, o arraste por fluxo de ar consiste em um processo físico de transferência dos compostos voláteis com a injeção de ar no líquido através de difusores ou outros mecanismos de aeração (METCALF & EDDY, 2003). Estudos reportados na literatura apontam que ao realizarmos a coagulação-floculação com cal, modifica-se o pH do efluente e conseqüentemente, eleva-se a eficiência do processo de arraste de N-NH_3 , devido o deslocamento do equilíbrio químico entre as espécies amônia solúvel e volátil, o que, posteriormente, favorece o processo de remoção.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo, avaliar os aspectos técnicos e econômicos da aplicação de cal no tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Seropédica (RJ). Foram avaliados os processos de coagulação-floculação com cal seguido de arraste por fluxo de ar para remoção de nitrogênio amoniacal e realizado estimativa preliminar de custos do tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização do lixiviado foi realizada com base em parâmetros de poluição de efluentes líquidos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012): Sólidos (2540-B; 2540-C; 2540-D; 2540-E), potencial hidrogeniônico (pH) (4500-H+), Carbono Orgânico Total (COT) (5310-C), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) (5210-B), Demanda Química de Oxigênio (DQO) (5220-D), nitrogênio amoniacal (4500-NH₃), cloreto Cl^- (4500- Cl^-), condutividade (2510-A), turbidez (2130-B), cor verdadeira (2120-C) e absorvância a 254 nm (ABS 254 nm) (5910-B). Avaliou-se a concentração de Substâncias Húmicas (SH) presente no efluente através do método espectrofotométrico/colorimétrico modificado ou método de Sheng modificado, proposto por Lima *et al.* (2017).

O processo foi realizado em aparelho *Jar-test* (Modelo Nova Ética). Foi preparada solução de CaO (200 g.L^{-1}) e analisadas concentrações de coagulante de 10 a 50 g.L^{-1} adicionados a 500 mL de lixiviado, para determinação da concentração ideal de coagulante. Os experimentos foram realizados em capela de exaustão de

gases. O tempo de mistura rápida foi de 1 minuto a 150 rpm e mistura lenta durante 30 minutos a 50 rpm. Posteriormente, o lixiviado decantou por 30 minutos. Foram realizadas três bateladas do processo de coagulação-floculação com cal e ao final de cada procedimento, o sobrenadante foi recolhido para análise dos parâmetros de poluição de efluentes descrito anteriormente, com exceção do parâmetro Carbono Orgânico Total (COT) (5310-C).

Os ensaios de arraste por fluxo de ar foram conduzidos em batelada em capela de exaustão de gases, utilizando-se um béquer com um volume reacional de 5 litros e compressor de ar modelo Boyu S-500A com vazão de ar de 4 L.min⁻¹. O sobrenadante obtido no processo de coagulação-floculação, em concentração ideal de coagulante, foi aerado através de compressor de ar em vazão de 1,33 L de ar.min⁻¹ por litro de efluente. Em um período de 12h, foram recolhidas amostras a cada 1 h para avaliação da DQO e da concentração de nitrogênio amoniacal do efluente e após 24h, os mesmos parâmetros foram analisados.

A estimativa preliminar de custos foi realizada com base nos resultados obtidos nos testes em laboratório e extrapoladas para um sistema real com vazão de tratamento de lixiviado pré-definida, sendo representada, neste trabalho, pelos custos de capital (CAPEX), pelos custos de operação (OPEX) e pelo custo total (CT), e normalizada por unidade de volume de lixiviado tratado. O valor do custo de capital do processo de tratamento com cal foi estimado a partir do estudo apresentado por Silva *et al.* (2011). Para a composição do OPEX, foram elencados os custos de depreciação do investimento, consumo energético da planta, matéria-prima, manutenção e mão-de-obra para operação do sistema de tratamento com cal.

O custo total (CT) por unidade de volume de lixiviado tratado foi obtido pela Equação 1, que contabiliza o custo operacional (OPEX) normalizado por volume anual de efluente tratado e o custo de capital (CAPEX) normalizado por volume de efluente tratado anualmente somado ao tempo, em anos, de operação da estação de tratamento de lixiviado, determinada por meio da Equação 2.

$$CT = R_{CAPEX} + \frac{OPEX}{V_T} \quad (1)$$

$$R_{CAPEX} = \frac{CAPEX}{V_T \times n} \quad (2)$$

Onde,

R_{CAPEX} : custo de capital normalizado por volume de efluente tratado (R\$.m⁻³); n : período de operação da estação de tratamento de lixiviado considerado em anos; V_T : volume total de efluente tratado (m³.ano⁻¹)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros obtidos na caracterização do lixiviado são apresentados nas Tabelas 1.

Tabela 1. Caracterização do lixiviado bruto do Aterro Sanitário de Seropédica (RJ), amostras coletadas em 14/11/2017 (n = 10).

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média±σ _M	Desvio Padrão (σ)
pH	7,7	8,2	8,0	0,1
DQO (mg.L ⁻¹)	4330	4690	4522±28	90
SH (mg.L ⁻¹)	-	-	1466	
N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	1150	1851	1512±76	239
Absorbância (254 nm)	26,29	27,01	26,70±0,03	0,10
Cor verdadeira (mg Pt-Co.L ⁻¹)	5560	7640	6391±190	602
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	14,57	20,45	19±1	4
Turbidez (NTU)	110	120	110±5	15
*COT	-	-	2154	
Cl ⁻	890	1327	887	
*DBO ₅	-	-	290	
DBO ₅ /DQO			0,06	

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}}; \sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

σ = desvio padrão; M = valor observado em cada ensaio; \bar{M} = média dos valores observados; n = número de ensaios realizados; σ_M = erro padrão da média

*Amostras coletadas em 16/07/2016

n = número de análises realizadas da mesma amostra, sempre que era utilizada nos ensaios

Os valores médios dos parâmetros de poluição obtidos na caracterização do lixiviado indicaram que o efluente apresentava elevada concentração de matéria orgânica, demonstrado através dos elevados valores de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT) obtidos, 4522±28 e 2154 mg.L⁻¹, respectivamente. Da mesma forma, a relação DBO₅/DQO (<0,1) indicou elevada concentração de substâncias recalcitrantes, confirmadas pela elevada concentração de Substâncias Húmicas (SH) (1466 mg.L⁻¹), compostos orgânicos não biodegradáveis, essencialmente ácidos húmicos e fúlvicos.

Por outro lado, a concentração de nitrogênio amoniacal (N-NH₃) (1512±76 mg.L⁻¹) está em consonância com valores descritos na literatura para um aterro jovem, como é o caso do aterro sanitário de Seropédica (RJ). Kjeldsen et al. (2002) apontaram um estudo que analisou lixiviados de 50 aterros alemães, revelando que a concentração de nitrogênio amoniacal nos lixiviados não sofreu modificações significativas a longo prazo. Os autores relataram que não há mudanças significativas nas concentrações de N-NH₃ da fase ácida a fase metanogênica de decomposição dos resíduos – o valor médio observado foi de 740 mg.L⁻¹. Visto que, o nitrogênio é liberado dos resíduos principalmente pela decomposição de proteínas e não há mecanismos para sua degradação em condições metanogênicas, os dados apresentados confirmaram que as concentrações de nitrogênio amoniacal permanecerão altas mesmo em lixiviados de aterros com maior tempo de operação, onde apesar de serem observadas baixas concentrações de conteúdo orgânico, persistirão elevados teores de nitrogênio no lixiviado gerado. Neste estudo, a concentração de 1512±76 mg N-NH₃.L⁻¹ está condizente com os dados descritos na literatura e com os dados de caracterização fornecidos pela estação de tratamento de chorume (ETC) do aterro sanitário de Seropédica (RJ).

Na Figura 1 são apresentados os resultados dos parâmetros de poluição do efluente obtidos em termos percentuais de eficiência de remoção após aplicação do processo de coagulação-floculação com cal nas concentrações de 10 a 50 g.L⁻¹, em condições operacionais de 1 min de mistura rápida a 150 rpm, 30 min de mistura lenta a 50 rpm e decantação por 30 min.

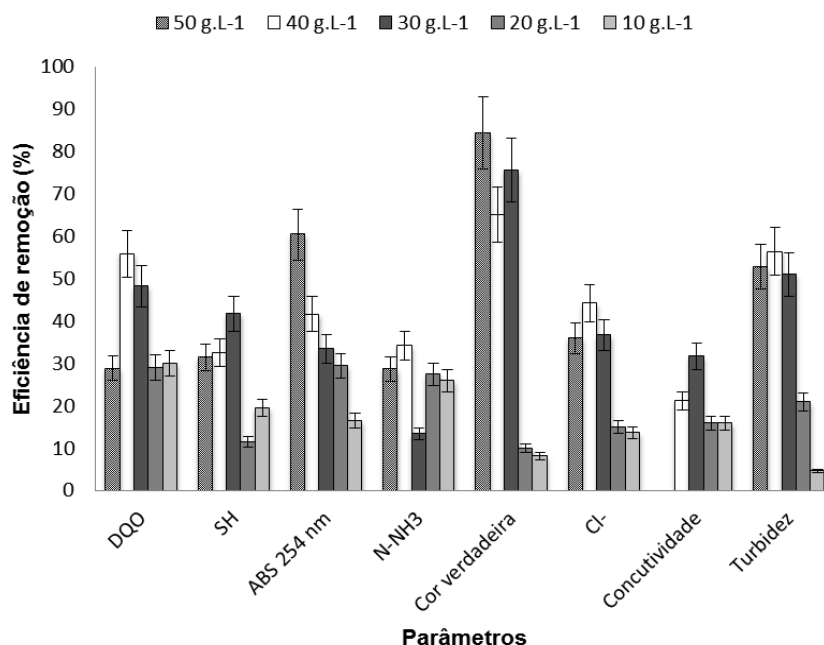
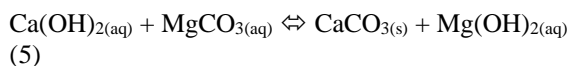
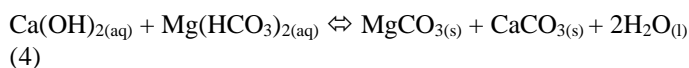
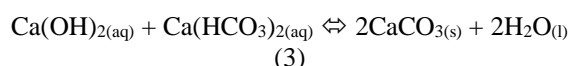


Figura 1. Eficiência de remoção dos parâmetros de poluição de efluentes após aplicação do processo de coagulação-floculação com cal em concentrações de 10 a 50 g.L⁻¹.

Durante a adição da cal, os íons de carbonato precipitam gradualmente, levando a redução da dureza do efluente (Ca²⁺ e Mg²⁺), os primeiros cristais de CaCO₃ (confirmados por Difração de Raios-X) são formados logo assim que a cal é adicionada ao lixiviado (Renou et al., 2008). Em seguida, a condutividade diminui até que a concentração de carbonato torna-se limite e evita que o limite de solubilidade do sal seja excedido. Assim, a dose ideal de coagulante corresponderá a concentração de cal que fornece o menor valor de condutividade (Renou et al., 2008).

Além disso, experimentalmente, segundo Renou et al. (2008), o pré-tratamento do lixiviado com óxido de cálcio induz à descarbonatação do lixiviado e tem um forte efeito sobre a fração inorgânica presente no efluente. O mecanismo de reação é descrito pelas Equações 3, 4 e 5.



Neste estudo, observou-se que durante a coagulação-floculação, o lixiviado sofreu uma descoloração lenta que evolui gradualmente com a dose crescente de cal adicionada. A cor do lixiviado muda progressivamente, após a sedimentação da fase precipitada, de preto para marrom escuro e amarelo claro.

Conforme pode ser observado, o melhor resultado de DQO foi obtido em concentração de 40 g.L⁻¹ de cal (56%), enquanto que o maior percentual de remoção de SH foi obtido em concentração de 30 g cal.L⁻¹ (42%). Comparativamente, nesta última concentração de coagulante, considerando o desvio padrão, o percentual de remoção de DQO (48%) foi próximo ao obtido em concentrações superiores de cal. Adicionalmente, essa concentração de coagulante também correspondeu ao menor valor de condutividade obtido para o efluente tratado (13 mS.cm⁻¹), apontada por Renou *et al.* (2008), como o valor de concentração de cal ideal para o

processo de coagulação-floculação. Desta forma, a concentração de 30 g.L⁻¹ foi tomada como concentração ideal de cal, dentro da faixa analisada, para remoção de matéria orgânica do lixiviado.

Em condição ideal de cal (30 g.L⁻¹), avaliou-se a remoção de nitrogênio amoniacal e DQO. Na Figura 2 são apresentados os valores das concentrações de N-NH₃ e DQO, assim como os respectivos percentuais de eficiência de remoção ao longo do processo de arraste.

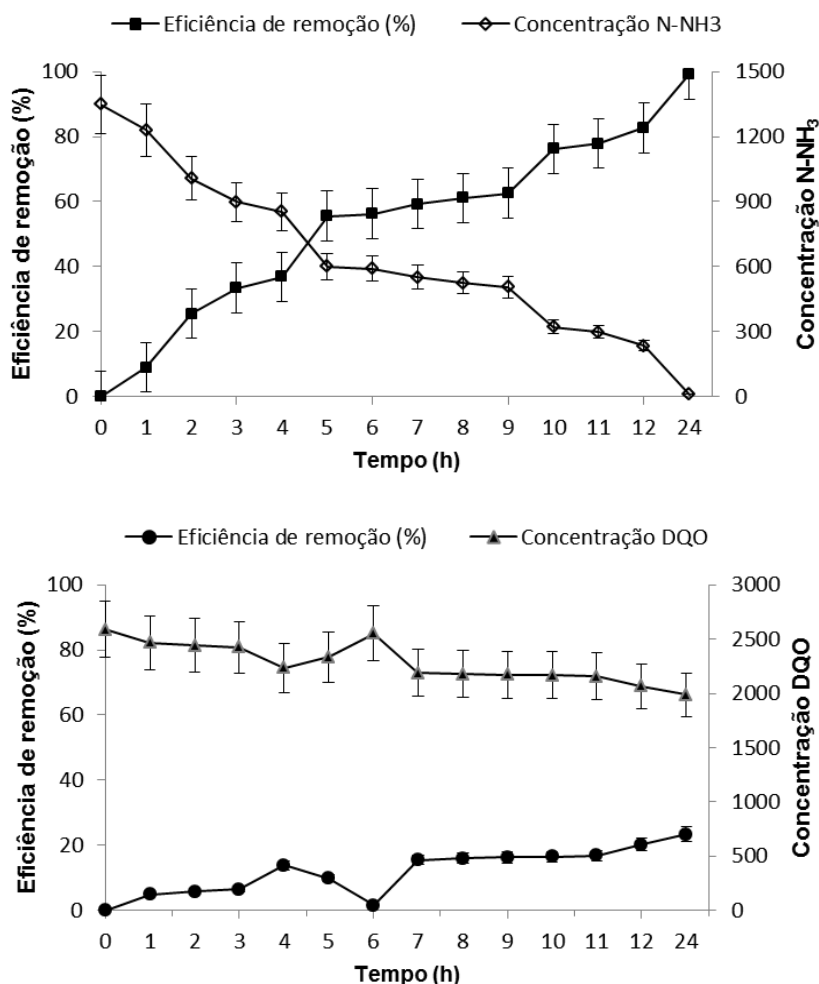


Figura 2. Eficiência de remoção de N-NH₃ e DQO em função do tempo de operação do processo de arraste por fluxo de ar (1,33 L ar. min⁻¹ por litro de efluente e tempo de retenção hidráulica de 24h).

Observa-se que o processo de arraste por fluxo de ar em condição operacional de 1,33 L ar.min⁻¹ por litro de efluente e tempo de retenção hidráulica de 24h, apresentou uma eficiência de remoção de cerca de 99% de nitrogênio amoniacal. A concentração de N-NH₃ final do efluente foi de 9,8 mg.L⁻¹, aproximadamente.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos na estimativa preliminar de custos da aplicação de cal para tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Seropédica (RJ).

Tabela 2. Estimativa preliminar de custos da aplicação de cal para tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Seropédica (RJ).

CAPEX	
CAPEX (Silva <i>et al.</i> , 2011)	R\$ 2.266.483,16
OPEX	
Custo energético (kWh)	48
Custo do kWh (R\$)	0,57
Tempo de operação da planta (h.ano ⁻¹)	8030,00
Consumo energético (R\$.ano ⁻¹)	R\$ 219.700,80
Vazão de lixiviado estimada (m ³ .h ⁻¹)	41,6667
Custo da cal (R\$.Kg ⁻¹)	0,37
Solução 10% m/m cal (Kg)	111,11
Concentração ideal de cal (Kg.m ³)	30
Vazão de cal (m ³ .h ⁻¹)	15,4112
Massa anual de cal (Kg.ano ⁻¹)	R\$ 3.826.986,24
Matéria-prima (R\$.ano ⁻¹)	R\$ 1.415.984,91
Custo de capital fixo (R\$)	R\$ 2.266.483,16
Período de depreciação (ano)	15
Depreciação (R\$.ano ⁻¹)	R\$ 151.098,88
Manutenção e mão-de-obra (R\$.ano ⁻¹)	R\$ 45.329,66
OPEX (R\$.ano ⁻¹)	R\$ 1.832.114,25
CT	
Período de operação da estação de tratamento de lixiviado (ano)	40
Eficiência do processo (%)	53
Vazão de alimentação (m ³ .h ⁻¹)	41,67
Volume total de lixiviado tratado (m ³ .ano ⁻¹)	365000,00
Custo total (R\$.m⁻³)	R\$ 5,17

Conforme apresentado na Tabela 2, observou-se que para um período de operação de 40 anos da estação de tratamento de lixiviado através da rota de tratamento proposta, o custo total será de R\$ 5,17 por m³ de efluente tratado.

Observa-se que, o processo de tratamento empregada neste trabalho foi capaz de enquadrar o efluente no limite de descarte para N-NH₃ de 20 mg.L⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Entretanto, destaca-se que, ainda são necessários tratamentos adicionais, os quais não foram investigados neste estudo por não fazerem parte do escopo do trabalho, que sejam capazes de remover contaminantes ainda presentes no efluente antes que o mesmo seja direcionado à um corpo hídrico e/ou reutilizado como água de reúso.

Por fim, salienta-se que a análise econômica empregada trata-se de uma estimativa com grau de incerteza associado, e por isso, deve ser considerada como uma etapa preliminar para a tomada de decisão quanto ao investimento a ser realizado. Para obter uma avaliação mais rigorosa deve-se elaborar um maior detalhamento do processo (etapas, custos e dimensionamento dos equipamentos) e fazer orçamentos mais precisos junto a fornecedores para então obter cotações mais assertivas para os preços de todos os equipamentos e, finalmente, implementação do processo.

CONCLUSÕES

O processo de tratamento com cal, nas condições ideais estabelecidas, mostrou-se um pré-tratamento satisfatório para remoção de matéria orgânica do efluente e para enquadrá-lo nos padrões de descarte para nitrogênio amoniacal de 20 mg.L⁻¹, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430/2011. O custo total por m³ de efluente tratado foi de R\$ 5,17, considerado um período de operação da estação de tratamento de lixo de 40 anos.

Com o intuito de aprimorar a investigação realizada neste estudo, recomenda-se a avaliação técnica do processo em escala piloto e a cotação dos custos do processo junto a fornecedores para uma estimativa econômica mais assertiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/ AWWA/ WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. USA, APHA, 2012.
2. BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430/2011 – Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. – Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU nº 92, de 16/05/2011, pág. 89. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 10 out. 2017.
3. EL-FADEL, M., BOU-ZEID, E., CHAHINE, W., ALAYLI, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. Waste Management, v. 22, p. 269-282, 2002.
4. FERRAZ, F. M., POVINELLI, J., VIEIRA, E. M. Ammonia removal from landfill leachate by air stripping and absorption. Environmental Technology, v. 34, p. 2317-2326, 2013.
5. FERRAZ, F. M., POVINELLI, J., VIEIRA, E. M. Ammonia removal from landfill leachate by air stripping and absorption. Environmental Technology, v. 34, p. 2317-2326, 2013.
6. FERREIRA, D. S. Estudo comparativo da coagulação/floculação e eletrocoagulação no tratamento de lixiviado de aterro. Dissertação (Mestrado). 2013. 126 f. Programa de pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ, RJ, 2013.
7. FRANCO, E. S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. Dissertação (Mestrado). 2009. 187 f. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil, 2009.
8. KJELDSEN P. I., BARLAZ, M. A., ROOKER, A. P., BAUN, A., LEDIN, A., CHRISTENSEN, T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 32, p. 297-336, 2002.
9. LIMA, L. S. M. S., DE ALMEIDA, R., QUINTAES, B. R., BILA, D. M., CAMPOS, J. C. Evaluation of humic substances removal from leachates originating from solid waste landfills in Rio de Janeiro State, Brazil. Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic Hazardous Substances and Environmental Engineering, v. 52, p. 828-836, 2017.
10. LINS, C. M. M. S., ALVES, M. C. M., CAMPOS, J. C., SILVA, F. M. S., JUCÁ, J. F. T., LINS, E. A. M. Removal of ammonia nitrogen from leachate of Muribeca municipal solid waste landfill, Pernambuco, Brazil, using natural zeolite as part of a biochemical system. Journal of Environmental Science and Health, Part A, Toxic Hazardous Substances and Environmental Engineering, v. 50, p. 980-988, 2015.
11. METCALF & EDDY. Wastewater engineer treatment disposal, reuse. 4. ed. New York: McGraw Hill book, 2003. 1819 p.
12. RENO S., POULAIN S., GIVAUDAN J. G., MOULIN P. Treatment process adapted to stabilized leachates: Lime precipitation–prefiltration–reverse osmosis. Journal of Membrane Science, v. 313, p. 9-22, 2008.
13. RODRIGUES, F. S. F., BILA, D. M., CAMPOS, J. C., SANT'ANNA JR, G. L., DEZOTTI M. Sequential treatment of an old-landfill leachate. International Journal of Environment and Waste Management, v. 4, p. 445-456, 2009.
14. SILVA, A. C., DEZOTTI M., SANT'ANNA JR, G. L. Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. Chemosphere, v. 55, p. 207-214, 2004.

15. SILVA, A. C., DEZOTTI M., SANT'ANNA JR, G. L. Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. *Chemosphere*, v. 55, p. 207-214, 2004.
16. SILVA, P. N. DA. Avaliação do processo de coagulação/floculação aplicado ao lixiviado, com ênfase na redução da ecotoxicidade. Dissertação (Mestrado). 2017. 106 f. Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental, PEA, UFRJ, RJ, 2017.
17. ZHANG, Q-Q., TIAN, B-H., ZHANG, X., GHULAM, A., FANG, C-R., HE, R. Investigation on characteristics of leachate and concentrated leachate in three landfill leachate treatment plants. *Waste Management*, v. 33, p. 2277-2286, 2013.