

### III-312 – UTILIZAÇÃO DE NANOFILTRAÇÃO E OSMOSE INVERSA NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

**Ronei de Almeida<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos (TPQB/EQ/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<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Departamento de Processos Inorgânicos, Escola de Química, Centro de Tecnologia – Bloco E, sala E 206. Ilha do Fundão – CEP: 21941-909 – Brasil – Tel: (21) 3938-7640 – e-mail: [myalmeida@gmail.com](mailto:myalmeida@gmail.com)

#### RESUMO

Um dos principais problemas relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos é o efetivo tratamento dos líquidos lixiviados produzidos em aterros sanitários. O volume gerado e a concentração do lixiviado produzido variam sobremaneira ao longo da vida do aterro. Além disso, o lixiviado é uma matriz aquosa potencialmente poluidora e de extrema complexidade, por apresentar grande variabilidade em sua composição, desta forma, o seu tratamento se torna igualmente complexo, visto que depende diretamente do tipo de resíduo que o origina. Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica de duas rotas de tratamento para o lixiviado proveniente do Aterro Sanitário de Seropédica (RJ). Neste contexto, foram investigados o processo de coagulação/floculação (pré-tratamento) seguido por nanofiltração (Rota 1) e o processo de osmose inversa no tratamento do lixiviado bruto (Rota 2). No processo de coagulação/floculação com cal, para uma concentração de 10 g.L<sup>-1</sup> de CaO foram obtidos percentuais de remoção de 54% de Carbono Orgânico Total (COT) e 33% de Demanda Química de Oxigênio (DQO). Durante o pré-tratamento do lixiviado também avaliou-se o arraste de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) durante agitação de 50 rpm por 6 horas, obtendo-se percentual de remoção de 71%. Usando a Rota 1 foram obtidos percentuais de remoção global de 89%, 94% e 91% em termos de COT, DQO e absorvância a 254 nm (ABS 254 nm), respectivamente. A concentração de Substâncias Húmicas (SH) foi reduzida consideravelmente (80%), alcançando valor final de 83 mg.L<sup>-1</sup>. Em relação à Rota 2, realizou-se processo de osmose inversa (Membrana BW30-4040 e pressão operacional de 20 bar) para tratamento do efluente bruto. Foram obtidos percentuais globais de remoção de 75% de COT, 79% de DQO e 83% de ABS 254 nm. Além disso, a remoção de N-NH<sub>3</sub> (73%) foi superior a Rota 1. Em contrapartida, embora significativo, o valor percentual de remoção de SH (44%) foi inferior ao obtido na Rota 1. Neste estudo, a aplicação de ambas as rotas de tratamento propostas demonstrou-se satisfatória para remoção de matéria orgânica, compostos recalcitrantes e nitrogênio amoniacal do lixiviado, dentro de suas especificidades e limitações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, Cal, Nitrogênio amoniacal, Nanofiltração, Osmose inversa

#### INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos é o efetivo tratamento dos líquidos lixiviados produzidos em aterros sanitários. O volume gerado e a concentração do lixiviado produzido variam sobremaneira ao longo da vida do aterro. Além disso, o lixiviado é uma matriz aquosa potencialmente poluidora e de extrema complexidade, por apresentar grande variabilidade em sua composição, desta forma, o seu tratamento se torna igualmente complexo, visto que depende diretamente do tipo de resíduo que o origina.

Dentre os processos empregados no tratamento de lixiviados de aterros sanitário, destacam-se os processos biológicos (lagoas de estabilização, lodos ativados e filtros biológicos) e os processos físico-químicos (oxidação química, adsorção em carvão ativado, coagulação/floculação e precipitação química) (RENOU *et al.*, 2008). Além das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) que operam tratando o lixiviado em conjunto com esgotos sanitários (ZHANG *et al.*, 2013).

Segundo Renou *et al.* (2008), a aplicação do processo de coagulação/floculação com cal no tratamento de lixiviado, reduz de 15 a 30% a salinidade deste efluente e diminui a concentração de Substâncias Húmicas (SH) através da precipitação de ácidos húmicos. Além disso, o processo de coagulação/floculação com cal produz um lodo quimicamente inerte que pode ser armazenado em local apropriado (RENOU *et al.*, 2008).

Os Processos de Separação por Membranas (PSM) têm sido utilizados nos mais diferentes setores de atividade na indústria química, na área médica, passando pela biotecnologia, indústria alimentícia, farmacêutica e tratamento de águas industriais e municipais (HABERT *et al.*, 2006). Segundo Moravia *et al.* (2010), os PSM nas últimas décadas tiveram destaque, principalmente nos países europeus, onde Gierlich e Kolbach (1998) mencionavam esta tecnologia no tratamento de lixiviados de aterros sanitário.

Zhang *et al.* (2013) avaliaram a aplicação de duas rotas de tratamento de lixiviado. O processo combinado composto por Processo Oxidativo Avançado (POA) de Fenton, Biorreator de Membrana (MBR) e sistema de osmose inversa (OI) e a rota composta por sistema simples de OI. Durante processo combinado, o POA foi eficiente na remoção de compostos orgânicos recalcitrante, porém, pouco eficiente na remoção de N-NH<sub>3</sub> (10%). Em etapa posterior, através da utilização do MBR, obteve-se remoção média de N-NH<sub>3</sub> de 80%. Por fim, a aplicação da OI foi satisfatória para enquadrar o efluente nos valores requeridos para descarte. O sistema simples apresentou eficiência de remoção de 50%, 40% e 15% em termos de COT, DQO e N-NH<sub>3</sub>, respectivamente, porém, ainda assim, não foram atingidos os limites de descarte estabelecidos. Os autores observaram também que a utilização do processo combinado reduziu significativamente problemas de fouling da membrana de OI.

No Brasil, o tratamento de lixiviado do Centro de Tratamento de Resíduos de Candeias (PE) e do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ) contam com uma unidade de nanofiltração como etapa final no tratamento do efluente (GIORDANO *et al.*, 2011), assim como no Aterro de Seropédica (RJ). A estação de tratamento de lixiviado de São Gonçalo (RJ) realiza a pré-filtração seguida de OI em três etapas para tratamento do lixiviado (HAZTEC, 2016).

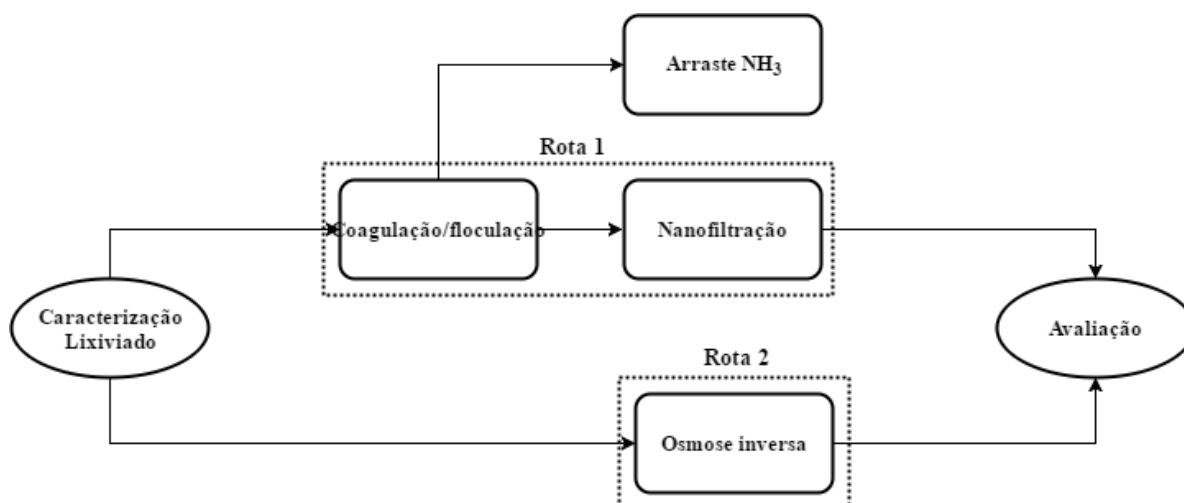
Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnica de duas rotas de tratamento para o lixiviado proveniente do Aterro Sanitário de Seropédica (RJ). Neste contexto, foram investigados o processo de coagulação/floculação como pré-tratamento para o processo de nanofiltração (NF) (Rota 1) e o processo de osmose inversa (OI) no tratamento do lixiviado bruto (Rota 2).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizado lixiviado proveniente do Aterro Sanitário de Seropédica, situado no Estado do Rio de Janeiro. O Aterro Sanitário de Seropédica (RJ) está em funcionamento desde 20 de abril de 2011 e passou a confinar os RSU que eram despejados nos aterros de Gramacho e Gericinó. Atualmente, recebe cerca de 79% dos resíduos sólidos urbanos coletados no Rio de Janeiro, além dos detritos dos municípios de Itaguaí e Seropédica, totalizando 10 mil toneladas de resíduos por dia (HAZTEC, 2016). O Aterro Sanitário de Seropédica (RJ) foi projetado para uma vida útil de 25 anos e ocupa uma área de 2 milhões e 200 mil metros quadrados, onde se produz, por dia, 450 m<sup>3</sup> de lixiviado (COMLURB, 2013). As amostras foram coletadas e entregues ao Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes – Labtare (EQ/UFRJ) em duas bombonas de 20 litros e foram mantidas a temperatura ambiente até sua utilização.

A caracterização do lixiviado foi realizada com base em parâmetros de poluição de efluentes líquidos (APHA, 2005), tais como: potencial hidrogeniônico (pH), Carbono Orgânico Total (COT), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), cloreto (Cl<sup>-</sup>), condutividade, turbidez, absorvância a 254 nm (ABS 254 nm). Também avaliou-se a concentração de Substâncias Húmicas (SH). Para quantificação de SH presente no efluente foi utilizado o método espectrofotométrico/colorimétrico modificado ou método de Sheng modificado (LIMA *et al.*, 2017).

Na Figura 1 são apresentadas, esquematicamente, as duas rotas de tratamento do lixiviado avaliadas neste estudo.



**Figura 1: Fluxograma das rotas de tratamento do lixiviado avaliadas neste estudo.**  
**Fonte: Elaboração própria**

A coagulação/floculação foi realizada como etapa de pré-tratamento para a nanofiltração (Rota 1). No processo de coagulação/floculação utilizou-se o óxido de cálcio (CaO) como coagulante. O processo foi realizado em aparelho “Jar-test” (Modelo Nova Ética). Foi preparada solução de CaO, 200 g.L<sup>-1</sup> e analisadas concentrações de coagulante de 0 a 10 g. L<sup>-1</sup> adicionados a 500 mL de lixiviado, 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.

Em etapa posterior, em concentração ideal de coagulante, avaliou-se a remoção de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) durante operação do processo de coagulação/floculação e decantação por 6h, sob agitação de 50 rpm para propiciar o arraste de N-NH<sub>3</sub>. O procedimento de mistura rápida foi o mesmo descrito anteriormente. Foram coletadas amostras do clarificado a cada 30 mim para análise do pH e da concentração de N-NH<sub>3</sub>.

A nanofiltração (NF) foi realizada utilizando-se um módulo de filtração em bancada. O sistema possui capacidade de 5 litros e área circular efetiva de membrana de 77,7 cm<sup>2</sup>, sendo o material de construção da célula de aço inoxidável 316 (PAM Membranas Seletivas). A pressão operacional foi de 8 bar para evitar a sobrecarga do sistema que opera a pressão máxima de 10 bar. Nesta etapa, o sistema foi alimentado com 3 litros do efluente proveniente do pré-tratamento com cal. O permeado foi recolhido e condicionado à temperatura de 4°C, para análise dos parâmetros de poluição de efluentes líquidos.

A Rota 2 foi realizada em um sistema simples fabricado pela PAM Membranas Seletiva que opera em batelada e modo de operação frontal (*Dead End Filtration*), pressurizado por ação de gás inerte (N<sub>2</sub>) e agitado através de placa de agitação magnética. A membrana utilizada no processo de osmose inversa (OI) foi a membrana de poliamida BW30-4040 fabricada pela *Dow Chemical Company*. Foram alimentados ao sistema 1 L de lixiviado bruto. O processo de filtração ocorreu durante 72h. A pressão de operação foi de 20 bar. Após o término do processo, o permeado foi caracterizado de acordo com os parâmetros descritos anteriormente, para avaliar a eficiência da OI no tratamento do lixiviado bruto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O lixiviado bruto utilizado neste estudo foi analisado, determinando-se os parâmetros de poluição de efluente líquidos, descritos em materiais e métodos. Os valores dos parâmetros obtidos na caracterização do lixiviado bruto são apresentados na Tabela 1. Além disso, na Tabela 1 constam os valores de caracterização para o lixiviado do Aterro de Gericinó (RJ) (LIMA *et al.*, 2015) e para o lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ) (MAURÍCIO, 2014).

**Tabela 1: Caracterização do lixiviado bruto do Aterro Sanitário de Seropédica (RJ) utilizado nos experimentos.**

| Parâmetros                              | n | Mínimo | Máximo | Média | Aterro de Gericinó (Lima <i>et al.</i> , 2017) | Aterro Metropolitano de Gramacho (Maurício, 2014) |
|---|---|--------|--------|-------|--|---|
| pH                                      | 5 | 7,77   | 7,91   | 7,84  | 8,15   | 8,52  |
| COT (mg.L <sup>-1</sup> )               | 1 | -      | -      | 2154  | 552  | 284   |
| DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )  | 1 | 290    | 290    | 290   | 43   | 77  |
| DQO (mg.L <sup>-1</sup> )               | 3 | 4113   | 4160   | 4137  | 1916   | 1858  |
| N-NH <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> ) | 3 | 1152   | 1320   | 1236  | 1311   | 1064  |
| Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )   | 3 | 890    | 1327   | 1109  | 2718   | 2709  |
| Condutividade (mS.cm <sup>-1</sup> )    | 3 | 14,57  | 20,45  | 17,51 | -  | -   |
| Turbidez (NTU)                          | 4 | 110    | 120    | 115   | 27   | 25,05   |
| ABS 254 nm                              | 5 | 26,29  | 27,01  | 26,65 | 12,44  | 14,94   |
| SH (mg.L <sup>-1</sup> )                | 1 | 426    | 426    | 426   | 667  | -   |
| DBO <sub>5</sub> /DQO                   |   |        |        | 0,07  | 0,02   | 0,04  |

Os valores médios dos parâmetros de poluição obtidos na caracterização do lixiviado indicaram alta concentração de matéria orgânica presente no lixiviado. Demonstrado pelos elevados valores de DQO e COT obtidos, 4137 e 2154 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente. Da mesma forma, a relação DBO<sub>5</sub>/DQO (<0,1) indicou elevada concentração de substâncias recalcitrantes, confirmadas pela alta concentração de SH (426 mg.L<sup>-1</sup>), compostos orgânicos não biodegradáveis, essencialmente ácidos húmicos e fúlvicos.

De acordo com Felici (2010), lixiviados mais estabilizados, provenientes de aterros mais antigos, caracterizam-se por possuir uma maior concentração de compostos recalcitrantes, que resistem à biodegradação e tendem a persistir e se acumular no ambiente. Embora, o Aterro Sanitário de Seropédica (RJ) seja um aterro jovem (6 anos), desta forma, esperava-se que a relação DBO<sub>5</sub>/DQO indicasse maior concentração de matéria orgânica biodegradável em termos de DBO<sub>5</sub>, valores elevados de matéria orgânica recalcitrante podem ser justificados como decorrentes das características dos resíduos depositados neste aterro.

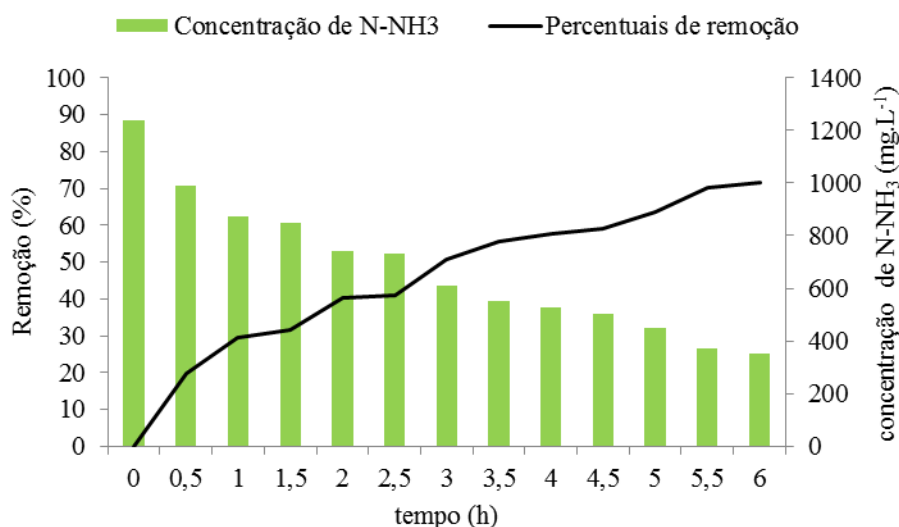
Outro fator que corrobora a baixa biodegradabilidade do efluente é o valor da absorbância a 254 nm, um indicativo de elevada concentração de substâncias orgânicas aromáticas, que absorvem na região do ultravioleta. Por outro lado, a concentração de nitrogênio amoniacal (1236 mg.L<sup>-1</sup>) está em consonância com valores descritos na literatura para um aterro jovem, como é o caso do Aterro Sanitário de Seropédica (RJ). Entretanto, ainda assim, é extremamente necessário que o efluente passe por tratamentos capazes de reduzir a concentração desse poluente, permitindo o descarte adequado do efluente de acordo com as Resolução CONAMA nº 430/2011 (20 mg.L<sup>-1</sup>).

O processo de coagulação/floculação foi realizado para reduzir o teor de sólidos do lixiviado bruto, a concentração de matéria orgânica recalcitrante (substâncias húmicas) e a concentração de nitrogênio amoniacal. Esta etapa foi um pré-tratamento do efluente, condicionando o lixiviado para o processo posterior de nanofiltração, minimizando o *fouling* na membrana de NF. Foram avaliadas concentrações de 0 a 10 g.L<sup>-1</sup> de coagulante, mistura rápida de 1 min a 150 rpm e mistura lenta de 30 min a 50 rpm.

Os melhores resultados de remoção dos parâmetros COT, DQO e ABS 254 nm foram obtidos em maior concentração de coagulante (10 g.L<sup>-1</sup>), dada a faixa de concentração avaliada, e esta concentração de coagulante correspondeu ao menor valor de condutividade obtido para o efluente tratado (12,46 mS.cm<sup>-1</sup>). Os percentuais de remoção em termos de COT, DQO e ABS 254 nm foram 54%, 37% e 28%, respectivamente.

Posteriormente, avaliou-se a remoção de nitrogênio amoniacal por arraste. O processo de coagulação/floculação foi conduzido em concentração ideal de coagulante (10 g.L<sup>-1</sup>), mistura rápida (150 rpm

por 1 min) e decantação durante 6 horas em agitação de 50 rpm. As concentrações em função do tempo de decantação obtidas e os percentuais de remoção de nitrogênio amoniacal são apresentados na Figura 2.



**Figura 2: Concentração de nitrogênio amoniacal em função do tempo e percentuais de remoção do processo de coagulação/floculação em concentração ideal de coagulante (10 g.L<sup>-1</sup>) e decantação durante 6 h em agitação de 50 rpm.**

Após o processo de coagulação/floculação e 6 horas de arraste, a concentração de N-NH<sub>3</sub> foi reduzida de 1236 mg.L<sup>-1</sup> para 353 mg.L<sup>-1</sup>, valor correspondente a 71% de remoção.

Por fim, após etapa de pré-tratamento do lixiviado, realizou-se nanofiltração do efluente (Rota 1). Foram avaliados os parâmetros pH, COT, DQO, N-NH<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, condutividade, turbidez, ABS 254 nm e SH do permeado. Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos parâmetros de poluição do efluente obtidos e os respectivos percentuais de eficiência de remoção do processo de tratamento empregado através da Rota 1.

Após tratamento final do efluente por NF, foi obtido eficiência de remoção de 94%, 91% e 89% em termos de DQO, ABS (254 nm) e COT, respectivamente. O percentual de remoção de SH foi de aproximadamente 80%. Após a NF a concentração de nitrogênio amoniacal foi reduzida de 990 mg.L<sup>-1</sup> para 396 mg.L<sup>-1</sup>, valor correspondente a 70% de remoção (Rota 1). Os valores de remoção de nitrogênio amoniacal foram próximos ao compararmos a eficiência de remoção da Rota 1 com o processo de arraste de nitrogênio amoniacal realizado. Provavelmente, a circulação do lixiviado no interior do sistema de NF, associado a elevação da temperatura na alimentação do sistema, facilitou a saída deste poluente na forma gasosa.

**Tabela 2: Caracterização do permeado obtido através da Rota 1 e respectivos valores percentuais de eficiência remoção.**

| Parâmetros                              | Concentração | Eficiência de Remoção (%) |
|---|--------------|---------------------------|
| pH                                      | 8,47         | -                         |
| COT (mg.L <sup>-1</sup> )               | 240          | 89                        |
| DQO (mg.L <sup>-1</sup> )               | 258          | 94                        |
| N-NH <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> ) | 396          | 70                        |
| Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )   | 447          | 60                        |
| Condutividade (mS.cm <sup>-1</sup> )    | 7,84         | 37                        |
| Turbidez (NTU)                          | 0,68         | 99                        |
| ABS 254 nm                              | 2,48         | 91                        |
| SH (mg.L <sup>-1</sup> )                | 83           | 80                        |

Em seguida, a Rota 2 foi utilizada para tratamento do lixiviado bruto. O módulo de osmose inversa foi alimentado com 1 L de lixiviado bruto e ao final da etapa de filtração, foram avaliados os parâmetros pH, COT, DQO, N-NH<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup>, condutividade, turbidez, ABS (254 nm) e SH do permeado. A Tabela 3 apresenta os resultados de caracterização do permeado obtido e os respectivos percentuais de eficiência de remoção dos parâmetros de poluição do efluente.

**Tabela 3: Caracterização do permeado obtido pelo do processo de osmose inversa e respectivos valores percentuais de eficiência remoção.**

| Parâmetros                              | Concentrações | Eficiência de Remoção (%) |
|---|---------------|---------------------------|
| pH                                      | 7,34          | -                         |
| COT (mg.L <sup>-1</sup> )               | 543           | 75                        |
| DQO (mg.L <sup>-1</sup> )               | 877           | 79                        |
| N-NH <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> ) | 332           | 73                        |
| Cl <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )   | 220           | 80                        |
| Condutividade (mS.cm <sup>-1</sup> )    | 4,12          | 76                        |
| Turbidez (NTU)                          | 3,70          | 97                        |
| ABS 254 nm                              | 4,57          | 83                        |
| SH (mg.L <sup>-1</sup> )                | 239           | 44                        |

Em termos de DQO, COT e ABS 254 nm, os percentuais de remoção foram 79%, 75% e 83%, respectivamente. Segundo Wang *et al.* (2011), a adsorção de orgânicos na superfície da membrana resulte em uma queda de fluxo que, em alguns casos pode ser permanente, inviabilizando o processo. Ainda assim, a técnica de separação por osmose inversa aplicada ao tratamento do lixiviado bruto deste estudo, apresentou valores consideráveis de eficiência de remoção de matéria orgânica

A concentração dos contaminantes, condutividade elétrica, turbidez, matéria orgânica, nitrito, nitrato e vírus são muito reduzidos no permeado da osmose inversa, o que permite várias aplicações de reúso (TANG *et al.*, 2013). Foram obtidos percentuais de remoção de 80%, 86% e 76% em termos de Cl<sup>-</sup>, turbidez e condutividade, respectivamente.

O percentual de remoção de N-NH<sub>3</sub> foi de 73%, percentual de remoção superior a Rota 1 de tratamento e ao processo de arraste do nitrogênio amoniacal.

Em relação a remoção de matéria orgânica recalcitrante, representada pelo percentual de remoção de SH do lixiviado bruto, foi obtido valor de 44%, percentual de remoção relativamente baixo. É importante destacar que, durante o processo de tratamento dos efluentes, cuidados especiais são necessários para seu dimensionamento, sendo necessária a detecção e o controle de alguns constituintes tais como: (1) sólidos suspensos totais ou turbidez; (2) microrganismos; (3) compostos orgânicos; (4) cor; (5) metais pesados; (6) sulfeto de hidrogênio; (7) sílica; (8) carbonato de cálcio (9) cloro; (10) cálcio; (METCALF & EDDY, 2003). Provavelmente, a elevada concentração de sólidos suspensos, turbidez e compostos orgânicos presentes no efluente bruto, além da ausência de um pré-tratamento do lixiviado, foi responsável pela baixa eficiência de remoção de SH e do baixo rendimento do módulo de filtração.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica de duas rotas de tratamento para o lixiviado do Aterro Sanitário de Seropédica (RJ) e analisar a qualidade final dos efluentes para descarte.

O processo de coagulação/floculação com cal mostrou-se um pré-tratamento satisfatório. Os percentuais de remoção de matéria orgânica em termos de COT, DQO e ABS (254 nm) foram de 54%, 37% e 28%, respectivamente. Valores percentuais de remoção obtidos em maior concentração de coagulante (10 g.L<sup>-1</sup>),

parâmetro avaliado durante etapa de pré-tratamento. Em relação a concentração de substâncias recalcitrantes, verificou-se que o processo de coagulação/floculação com cal não foi capaz de reduzir a concentração de SH presente no lixiviado bruto.

Além disso, o processo de coagulação/floculação seguido de 6h de decantação e arraste por ar, foi capaz de reduzir a concentração de N-NH<sub>3</sub> de 1236 mg.L<sup>-1</sup> para 353 mg.L<sup>-1</sup>, valor correspondente a 71% de eficiência de remoção. Entretanto, o limite de descarte, 20 mg.L<sup>-1</sup>, estabelecido pela resolução CONAMA n° 430/2011 não é atingido durante a etapa de pré-tratamento.

A nanofiltração realizada em sequência ao processo de coagulação/floculação foi responsável por remoções adicionais dos parâmetros de poluição que provocam a recalcitrância do lixiviado. Foram obtidas eficiência de remoção de 91%, 95% e 87% em termos de DQO, COT e ABS 254 nm, respectivamente. A concentração de SH foi reduzida consideravelmente e seu valor final correspondeu a uma redução de 80% da concentração presente no lixiviado bruto. Após realização do processo combinado de tratamento do lixiviado bruto, a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal foi de aproximadamente 70%.

O tratamento do lixiviado bruto por osmose inversa (OI) representou uma rota experimental viável para melhora da qualidade do efluente. Foram obtidos percentuais de remoção de 79% de DQO, 75% de COT e 83% da ABS 254 nm. O percentual de remoção de N-NH<sub>3</sub> foi de 73% e 44% de SH. Apesar dos valores elevados de remoção obtidos através do processo por osmose inversa, ainda assim, os padrões de descarte também não foram atingidos. Entretanto, os valores podem ser melhorados, por exemplo, com a realização do processo de OI em mais de uma etapa.

## AGRADECIMENTOS

À COMLURB (Companhia de Limpeza Urbana do Município do Rio de Janeiro) pelo envio das amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Public Health Association (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environ. Federation: Washington, D.C., 2005; 1496 p.
2. BRITO FILHO, L. F. Estudo de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação de Mestrado – Curso de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005, 222 p.
3. FELICI, E. M. Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. Londrina, 2010.
4. GIERLICH H. H.; KOLBACH J. *Treating landfill leachate in European countries*. *Pollut. Eng*, p. 10-14, ago, 1998.
5. GIORDANO, G.; FERREIRA, J. A.; PIRES, J. C. A.; RITTER, E.; CAMPOS, J. C.; ROSSO, T. C. A. Tratamento do Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho, Rio de Janeiro, Brasil. In: *XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Cancun, México. 2002.
6. HABERT, A.C.; BORGES, C.P.; NOBREGA, R. *Processos de Separação por Membranas*, 1 ed. Rio de Janeiro, E-papers Serviços Editoriais Ltda. 2006, 180 p.
7. HAZTEC. Informações sobre Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos da cidade do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.haztec.com.br/solucoes-ambientais-completas/> (acessado em 5 mar. 2017).
8. LIMA, L. S. M. S.; ALMEIDA, R.; QUINTÃES, 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*, abr 2017, p. 1-9.
9. MAURÍCIO, R. G. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando processos de separação de membranas e zeólita natural. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Programa de Pós Graduação Escola Politécnica & Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014, 90 p.
10. MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. Avaliação de processo oxidativos avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. *Química Nova*, v. 34, n. 8, 2011, p. 1370-1377.

11. 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.
12. TANG, F.; HU, H.; WU, Q.; TANG, X.; SUN, Y.; SHI, X.; HUANG, J. *Effects of chemical agent injections on genotoxicity of wastewater in a microfiltration-reverse osmosis membrane process for wastewater reuse. Journal of Hazardous Materials*, v. 260, p. 231-237, 2013.
13. WANG, P.; WANG, Z.; WU, Z.; MAI, S. *Fouling behaviors of two membranes in a submerged membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. Journal of Membrane Science*, v. 382, p. 60-69, 2011.
14. ZHANG, T.; TIAN, B.; 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, n. 11, p. 2277-2286, nov, 2013.