MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO APLICADA NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Theoana Horst Saldanha^{1*}, Ludmila Carvalho Neves², Jeanette Beber de Souza³, Carlos Magno de Sousa Vidal⁴

^{1*} Mestranda – Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná – UNICENTRO – (theoanahs@hotmail.com), – Irati, PR, Brasil.

² Doutoranda – Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná – UNICENTRO – Irati, PR, Brasil.

³ Professora Doutora do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná – UNICENTRO – Irati, PR, Brasil

⁴ Professor Doutor do Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná – UNICENTRO Irati, PR, Brasil

Recebido em: 03/10/2016 – Aprovado em: 21/11/2016 – Publicado em: 05/12/2016
DOI: 10.18677/EnciBio_2016B_067

RESUMO

O lixiviado é o efluente gerado da decomposição de substâncias presentes nos resíduos sólidos urbanos. O lixiviado é o líquido resultante da decomposição da matéria orgânica, que em geral apresenta coloração escura, mau cheiro, elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO), matéria orgânica dissolvida, compostos recalcitrantes e metais pesados (metais traço). Seu tratamento requer cuidados especiais, pois seu lançamento *in natura* é altamente prejudicial ao meio ambiente devido ao elevado potencial poluidor que representa. O lixiviado utilizado foi coletado de um aterro sanitário municipal do estado do Paraná. Nesta pesquisa empregou-se unidade piloto de membranas filtrantes de microfiltração e ultrafiltração como tecnologia de tratamento desse efluente. Tendo como objetivo avaliar o desempenho da unidade piloto de membranas, comparando a eficiência dos processos de microfiltração e ultrafiltração. Para a avaliação da relação entre os parâmetros indicadores da qualidade do efluente medidos ao longo do tratamento e o tempo de filtração, foi determinado o coeficiente de correlação de Pearson (R). Através da análise estatística pôde-se observar que não se obteve diferença estatística entre os tratamentos, porém, por meio do coeficiente de correlação foi possível verificar que a eficiência do tratamento possui tendência a aumentar na medida em que o tempo de filtração também aumenta, pois cada vez que o efluente passa através da membrana eleva-se o contato contaminante-membrana tornando o tratamento mais eficiente quanto maior o tempo de filtração.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção de contaminantes, saneamento, tratamento avançado de efluentes.

MICROFILTRATION AND ULTRAFILTRATION APPLIED AT THE TREATMENT OF LEACHATE OF LANDFILL

ABSTRACT

Leachate is the effluent produced from the decomposition of substances in solid waste. Leachate is the liquid resulting from the decomposition of organic matter, which usually dark colored, bad smell, high chemical oxygen demand (COD), dissolved organic matter, recalcitrant compounds and heavy metals (trace metals). Its treatment requires special care, after its release without treatment is highly harmful to the environment due to the high pollution potential it represents. The leachate used was collected from a municipal landfill in the state of Paraná. In this research we used pilot unit of microfiltration membrane and ultrafiltration as treatment of the effluent. Having to objective to evaluate the performance of the pilot unit of membranes, comparing the efficiency of microfiltration and ultrafiltration processes. To evaluate the relationship between the parameters indicators of the quality of the effluent measured throughout treatment, and the filtration time was determined the Pearson correlation coefficient (R). For statistical analysis it was observed that there was obtained no statistical difference between treatments, however, through the correlation coefficient it was possible to verify that the treatment efficiency has a tendency to increase as the filtration time also increases, because as each time the effluent passes through the membrane rises contaminant-membrane contact making treatment more efficient the higher the filtration time.

KEYWORDS: Removing contaminants, advanced wastewater treatment, sanitation.

INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário pode ser definido, segundo a ABNT 8419/1992, como: “líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos RSU que tem como características a cor escura, o mau cheiro e a elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO)” (ABNT, 1992). Sua composição é bastante variável, apresentando altas concentrações de nitrogênio amoniacal, matéria orgânica dissolvida, compostos recalcitrantes, metais pesados e poluentes tóxicos. O lixiviado é gerado através do processo de biodegradação da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos e a infiltração de água de chuva na massa dos resíduos (PERTILE, 2013; HETKA, 2016).

As características físico-químicas do lixiviado são bastante peculiares e apresentam grande variação de um aterro para outro, com isso o tratamento deste efluente apresenta-se como um grande desafio na área de saneamento e, quando lançado sem tratamento adequado, gera elevados impactos ambientais devido ao seu potencial poluidor, como a toxicidade para a biota presente no solo e nos cursos d'água, provocando a redução do oxigênio dissolvido e a eutrofização de recursos hídricos (SOUTO, 2009; MORAVIA et al., 2011).

Devido o lixiviado possuir diversos efeitos negativos para o meio ambiente é de suma importância o tratamento adequado deste efluente, pois esta é uma forma de proteção ambiental e melhoria das condições sanitárias para a população (MORAVIA, 2010). Considerando que o assunto sobre lixiviados é relativamente recente, tendo em vista que os primeiros aterros sanitários com impermeabilização da base foram implantados por volta de 1970, ainda não foi estabelecida uma alternativa plenamente satisfatória para o tratamento desses efluentes, para toda e qualquer situação (SOUTO, 2009).

Atualmente, as técnicas mais utilizadas para o tratamento de lixiviados são baseadas em sistemas biológicos e em processos de coagulação/floculação. Estes métodos, bastante difundidos no Brasil, apesar de proporcionarem redução significativa da matéria orgânica apresentam-se ainda insuficientes para a adequação desses efluentes, em muitas situações, aos padrões de lançamento estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 (MORAVIA et al., 2011; PERTILE, 2013).

Uma alternativa que tem se destacado no tratamento do lixiviado é o processo de separação por membranas (PSM), pois este apresenta grande eficiência na remoção de contaminantes que não são removidos através de tratamentos convencionais, como as substâncias recalcitrantes e alguns patogênicos.

O tratamento de efluentes realizado por meio dos processos de separação por membrana possui inúmeras vantagens, entre elas: a geração de águas residuárias com melhor qualidade, flexibilidade operacional, estações de tratamento mais compactas, não ocorre mudança de fase durante a separação, não necessita de adição de reagentes químicos, possibilita o tratamento de substâncias termolábeis e apresenta custo competitivo quando comparado aos demais sistemas convencionais de tratamento (MORAVIA, 2010; PERTILE, 2013; NEVES, 2014).

Uma das principais desvantagens do tratamento por PSM é a ocorrência da colmatção da membrana (*fouling*) devido a deposição de partículas, matéria orgânica, micro-organismos etc. na superfície e poros da membrana filtrante. A formação de torta está relacionada ao acúmulo de partículas presentes na superfície da membrana e precipitação química (MORAVIA, 2010).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de uma unidade piloto de membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) no tratamento de lixiviado proveniente de um aterro sanitário municipal. Para isso, foram analisadas as características físico-químicas do lixiviado bruto proveniente do aterro sanitário comparando a eficiência dos processos de microfiltração e ultrafiltração utilizando-se de métodos estatísticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O lixiviado utilizado nesta pesquisa foi coletado de um aterro sanitário municipal do estado do Paraná, cujo tratamento era realizado por três lagoas: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa aerada e lagoa de polimento, com posterior recirculação para a massa de resíduos. O lixiviado do estudo foi coletado da saída da lagoa de polimento.

As análises dos parâmetros físico-químicos: turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

O fluxo de permeado (J) foi obtido dividindo-se o volume de efluente filtrado pelo produto da área da membrana e o tempo de amostragem, conforme a equação:

$$J = \frac{V}{A \cdot t}$$

Em que:

V= Volume de permeado recolhido (L);

A= Área filtrante da membrana (m²);

t = tempo de amostragem (h)

Neste trabalho foram realizados ensaios em unidade piloto de membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF). As membranas utilizadas foram tipo fibra oca, com área de filtração de 0,059 m².

O sistema piloto de MF e UF funciona com uma bomba do tipo diafragma (3) que bombeava o efluente de um tanque de armazenamento de polipropileno (1) com 10 litros de capacidade até o módulo de permeação (7).

Na Figura 1 é apresentado, respectivamente, o esquema ilustrativo e a foto do sistema MF/UF.

FIGURA 1 - Esquema ilustrativo (a) e fotografia da unidade piloto (b) de MF e UF utilizada nos experimentos.

Fonte: autores

A unidade piloto de membranas foi operada com as seguintes condições operacionais: vazão de alimentação de 1,2 L/ min, pressão de operação de 0,5 bar e frequência de retrolavagem a cada 10 minutos, com duração de 30 segundos.

As amostras do permeado foram coletadas a cada 20 minutos durante 120 minutos de operação. Os ensaios foram realizados em triplicata.

Análise de Dados

Primeiramente determinou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (R) entre cada parâmetro monitorado no decorrer do período de operação (DQO, turbidez, cor e fluxo) e o tempo de filtração (minutos). Posteriormente verificou-se a diferença entre as médias do desempenho das membranas MF e UF, em relação as parâmetros fluxo de permeado, DQO, turbidez e cor, mediante o delineamento hierarquizado. A diferença foi assegurada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas no software Statistica versão 10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do lixiviado bruto

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios e desvios padrões referentes à caracterização físico-química do efluente lixiviado bruto a partir dos parâmetros avaliados.

TABELA 1 – Valores médios e desvios padrões da caracterização do lixiviado

Parâmetros	Média	Desvio Padrão
DQO (mg/L)	493,32	± 152,30
Turbidez (UNT)	102,71	± 10,63
Cor (uC)	1771,71	± 43,75
Sólidos Totais (mg/L)	3207,48	± 39,34

Correlação Linear

Na Tabela 2 são apresentados os valores da matriz de correlação linear simples entre DQO, turbidez, cor e fluxo.

TABELA 2 – Valores da matriz de correlação linear

Parâmetros	MF	Valor p	UF	Valor p
DQO (mg/L)	-0,47	0,073 <i>n.s</i>	-0,58	0,021*
Turbidez (UNT)	-0,68	0,005*	-0,65	0,008*
Cor (uC)	-0,67	0,006*	-0,66	0,007*
Fluxo do permeado (L/h.m ²)	-0,73	0,002*	-0,65	0,008*

*Onde *: correlação significativa a 5% de probabilidade de erro e *n.s*: correlação não significativa a 5% de probabilidade de erro.

Analisando a matriz de correlação observou-se que, apenas o par parâmetro DQO *versus* tempo de operação na operação de MF apresentou correlação não significativa, os demais foram significativos. Os pares que apresentam correlação negativa e significativa comprovam que o processo de separação por membranas é eficiente na remoção de matéria orgânica, turbidez, cor e condutividade. O parâmetro fluxo de permeado apresentou correlação negativa, pois este decaiu com o passar do tempo de operação devido a colmatação das membranas.

Análise de remoção dos parâmetros analisados nas amostras de permeado coletadas ao longo da operação de MF e UF

Nas figuras abaixo encontram-se as análises estatísticas de caráter comparativo entre a qualidade de permeado obtido das membranas de MF e UF.

FIGURA 2 – Fluxo de permeado na unidade piloto de MF e UF, em função do tempo de operação.

Observando a Figura 2 nota-se que os valores do perfil do fluxo de permeado, onde as barras de diferença média significativa se tocam indicam que tais valores não apresentam diferença estatística a 5% pelo teste de Tuckey, ou seja, não há diferença entre os valores de fluxos de permeado para MF e UF no período de operação estudado.

FIGURA 3 – Eficiência de remoção de DQO dos processos de MF e UF ao longo da operação.

Como pode-se observar na Figura 3, durante todo o período de operação o tratamento não representou diferença estatística, pois as barras se tocam.

FIGURA 4 – Valor da cor nas amostras de permeado coletadas nas unidades de MF e UF ao longo do período de operação.

FIGURA 5 – Eficiência de remoção de turbidez dos processos de MF e UF ao longo da operação.

Para as Figuras 4 e 5 que apresentam os valores de cor e turbidez, respectivamente, observa-se que, para ambos os parâmetros apenas no tempo de 30 minutos detectou-se a diferença estatística no tratamento. Isso deve-se ao fato de que no início da filtração a membrana ainda não estava colmatada, provavelmente após esse período de tratamento houve aumento da deposição de partículas sobre a superfície da membrana, contribuindo desta forma para o aumento da intensidade colmatção, ou seja, a partir do momento de 30 minutos os desempenhos das membranas foram afetados negativamente.

Caracterização do lixiviado após tratamento com membranas

Na Tabela 3 são apresentadas as eficiências em porcentagem de remoção proporcionada pelas tecnologias empregadas

TABELA 3 – Valores médios obtidos na caracterização do lixiviado após tratamento com membranas e eficiência de remoção.

Parâmetros	Bruto	MF	Remoção %	UF	Remoção %
DQO (mg/L)	493	340	31	277	43
Turbidez (UNT)	102	34	66	14	86
Cor (uC)	1771	833	53	465	73
Sólidos Totais (mg/L)	3207	2255	29	1806	43

Diante dos valores observados, percebe-se que os PSM são eficientemente satisfatórios para serem empregados como alternativa de pós tratamento de lixiviado. Notou-se uma redução significativa dos parâmetros monitorados, visto que o tratamento do lixiviado é bastante complexo devido à alta carga poluidora desse efluente.

Segundo MORAVIA (2010) e PERTILE (2013), a implantação dos PSM como polimento final no tratamento do lixiviado, apresenta bons resultados na remoção de contaminantes, gerando permeados que atendem as legislações ambientais e

padrões de lançamento de efluente. Sendo assim, o pós tratamento do lixiviado através dos PSM contribui para a preservação dos recursos hídricos.

De acordo com SCHNEIDER & TSUTIYA (2001), as membranas de MF e UF possuem alta eficiência na remoção de material orgânica na forma particulada. Pode-se observar que a membrana de UF mostrou-se mais eficiente na redução dos parâmetros analisados devido ao diâmetro dos poros serem menores do que os da membrana de MF (BRAILE & CAVALCANTI, 1993; SCHNEIDER & TSUTIYA, 2001).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados da pesquisa, pode-se concluir que o tratamento do lixiviado por meio do processo de separação por membranas é eficaz, pois, de acordo com a correlação a eficiência tende a aumentar quanto maior for o período de tratamento através das membranas, exceto a DQO para a MF.

Apesar de não ter ocorrido diferença estatística entre MF e UF, os dados obtidos sobre o PSM sugere que para o tempo estudado, quanto maior o tempo de operação o processo tende a ser mais eficiente para o tratamento de lixiviados provenientes de aterros estabilizados os quais possuem características recalcitrantes, pois cada vez que o efluente passa através da membrana eleva-se o contato contaminante-membrana tornando o tratamento mais eficiente quanto maior o tempo de filtração.

REFERÊNCIAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma brasileira ABNT NBR 8419, Apresentação de Projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.** ABNT, 1992.

APHA - American Public Health Association (2005) **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st edn. APHA, AWWA, WEF, Washington, DC.

BRAILE, M.; CAVALCANTI, J. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB**, São Paulo, 1993.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357/05, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como as condições de padrões de lançamento de efluentes. **Conselho Nacional do Meio Ambiente: CONAMA**, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430/11, de 13 de Maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA**, Brasília, DF, 2011.

HETKA, C. C. I.; SOUZA, B. J.; VIDAL, M. C.; SOUSA, V. K. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação, ultrafiltração e processo oxidativo avançado. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**, v, 9, nº2, p. 240 – 255. México, 2016.

MORAVIA, G. W.; **Avaliação do Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário através de Processo Oxidativo Avançado conjugado com Sistema de Separação por Membranas**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2010. 262 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MORAVIA, G. W.; LANGE, C. L.; AMARAL, S. C. M. Avaliação de processo oxidativo 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**, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422011000800014>

NEVES, C. L. **Aplicação de microfiltração e ultrafiltração como pós-tratamento de efluente de lodo ativado em uma indústria de papel e celulose**. Irati, PR: UNICENTRO, 2014. 77 f. Dissertação Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati.

PERTILE, C. **Avaliação de Processos de Separação por Membranas como Alternativas no Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário**. Porto Alegre, RS: UFRS, 2013. 127 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. 1ª Ed. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**, São Paulo, 2001.

SILVA, C. A. **Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade do Efluente Bruto e Tratado**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2002. 126 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUTO, B. A. G. **Lixiviados de Aterros Sanitários Brasileiros – Estudo de Remoção do Nitrogênio Amoniacal por Processo de Arraste com Ar (“stripping”)**. São Carlos, SP: USP, 2009. 371 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos.