

## II-117 – APRIMORAMENTO DA QUALIDADE DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO POR MEMBRANA DE MICROFILTRAÇÃO

**Jean Guilherme Oliveira Kinah<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO – PR).

**Carlos Magno de Sousa Vidal**

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo – USP

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Visconde de Sinimbu, 1032 - Madureira – Ponta Grossa – PR - CEP: 84070-130 - Brasil -  
Tel: +55 (42) 9931-1767 - e-mail: [jeanguilhermeok@hotmail.com](mailto:jeanguilhermeok@hotmail.com)

### RESUMO

O tratamento anaeróbio de águas residuárias possui algumas vantagens em relação ao tratamento aeróbio, tais como, a não necessidade de inserção de oxigênio, produção de lodo estabilizado e em menor quantidade e a geração de gás metano que pode ser utilizado como fonte de energia. Porém, reatores anaeróbios nem sempre conseguem gerar efluentes capazes de atender a legislação nacional, devido a sua limitada eficiência de remoção da matéria orgânica, necessitando então de um pós-tratamento. Neste contexto, o presente estudo investigou o uso da microfiltração para o pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio. Amostras provenientes de reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) foram previamente caracterizadas para posterior realização de ensaios em um sistema piloto de microfiltração. O sistema de microfiltração apresentou bons resultados de remoção de cor, turbidez, Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Suspensos Totais, apresentando em sua melhor condição operacional, eficiências de remoção na ordem de 91,7%, 98,3%, 62% e 100%, respectivamente. A remoção de patogênicos também foi eficiente, apresentando valores de log de remoção de E. Coli de 4,69 e 5,88 log com residual de 13 e 1 UFC/100 ml e, valores de remoção de Coliformes Totais de 7,6 e 5,06 log com residual de 10 e 5 UFC/100 ml, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pós-tratamento, membranas filtrantes, microfiltração.

### INTRODUÇÃO

O tratamento aeróbio de efluentes está relacionado a altos custos de instalação e operação, devido à necessidade de aeração e de unidades complexas para o tratamento do lodo. Nesse contexto, o tratamento anaeróbio de águas residuárias torna-se uma opção bastante atraente para o tratamento secundário de efluentes domésticos. Dentre as diversas vantagens desses sistemas, podemos citar a não necessidade de inserção de oxigênio, a produção de lodo já estabilizado e em menor quantidade, além da possibilidade de utilização do gás metano como fonte de energia (LEW *et al.*, 2009).

Apesar das vantagens aqui reportadas e a aceitação deste tipo de tratamento, o efluente advindo de reatores anaeróbios nem sempre atendem aos padrões de emissão estabelecidos na legislação nacional, devido a sua baixa eficiência na remoção de patógenos, matéria orgânica (em torno de 70%), bem como de macronutrientes, como o nitrogênio e fósforo, portanto, necessitando de uma etapa de pós-tratamento de seus efluentes, chamada também de tratamento avançado (MASCARENHAS *et al.*, 2004).

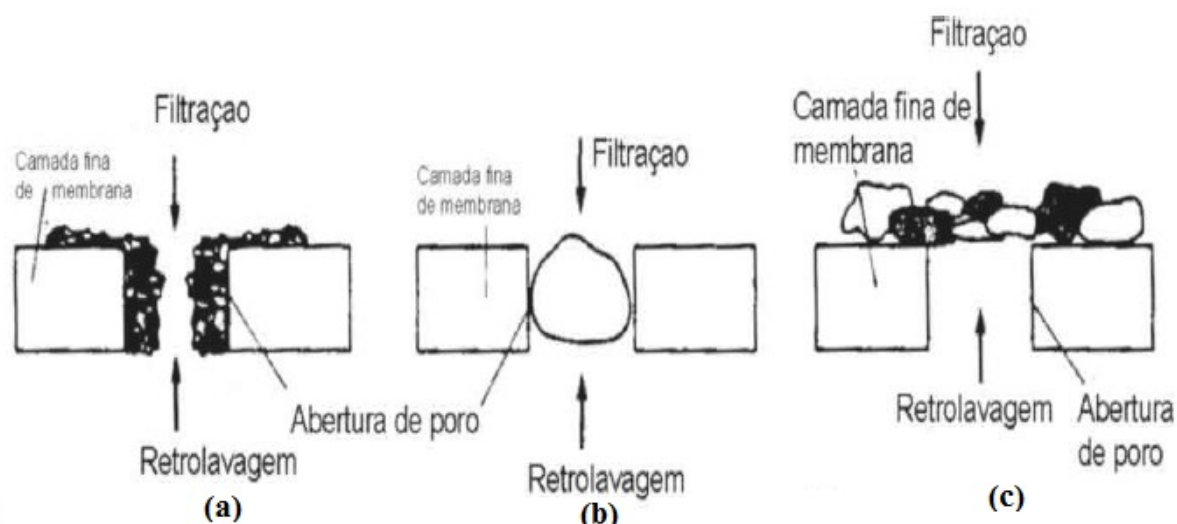
Tratamento avançado, segundo Metcalf e Eddy (2003), consiste na remoção de partículas coloidais, suspensas e dissolvidas, que permaneceram após o tratamento secundário. Uma das possibilidades de tratamento avançado pode ser por sistema de membranas filtrantes, que consiste em um módulo de membrana que efetua a separação da fase sólida da líquida, restando em grande quantidade sólidos presentes no efluente deixando assim a fase líquida, com baixas concentrações de sólidos em suspensão, microrganismos e matéria orgânica. A utilização de membranas filtrantes possibilita remover com elevada eficiência microrganismos em comparação às técnicas de desinfecção convencionais, não utiliza produtos químicos e, portanto, não gera coprodutos tóxicos (ARROJO *et al.*, 2005).

De acordo com Schneider & Tsutiy (2001), a utilização de membranas filtrantes para o tratamento avançado de águas residuárias vem sendo empregada devido a sua menor área para instalação, facilidade de operação e

melhor eficiência em relação às alternativas convencionais, além de atender aos mais restritivos padrões de emissão.

O princípio da filtração em membranas pode ocorrer de maneira frontal ou tangencial. No sistema de filtração frontal, a alimentação é realizada perpendicularmente em relação à membrana. Nessa configuração, tem-se uma elevada concentração de partículas próximas a membrana, acarretando em maior resistência e declínio do fluxo de permeado, induzindo a colmatação, definida como a obstrução dos seus poros, devido a formação de uma camada em sua superfície, diminuindo assim o fluxo do permeado ao longo do tempo. (PELEGRIN, 2004). Já no sistema de filtração tangencial, a alimentação ocorre paralelamente à superfície da membrana, e parte do fluido é permeado através da membrana. Com esta configuração é possível diminuir a concentração de partículas que se assentam sobre a membrana, tornando a filtração mais eficiente. (KOROS et al., 1996).

Conforme Vidal (2006), a obstrução dos poros da membrana ocorre de três modos distintos: o estreitamento de poros, que consiste na adsorção de sólidos às paredes internas dos poros; a obstrução, definida como o acúmulo de sólidos por toda a área dos poros e, a formação de “torta”, ocorrendo quando há sólidos de tamanho superior aos poros das membranas. Estes três mecanismos estão representados na figura 1:



**Figura 1: Modos de colmatação de membranas: (a) estreitamento dos poros; (b) obstrução dos poros; (c) formação de “torta”.**

**Fonte: Metcalf & Eddy (2003) apud Vidal (2006).**

Segundo Al-Malack e Anderson (1996), o fluxo da membrana diminui gradativamente, devido a sua colmatação, fazendo-se necessário efetuar a limpeza da mesma utilizando-se o processo de retrolavagem no qual o fluxo é invertido para que os poros possam ser desobstruídos. Caso apenas esta retrolavagem não seja suficiente, processos químicos são necessários para restituir as condições iniciais das membranas.

De acordo com Schneider & Tsutiya (2001), o sistema de membranas filtrantes, devido a sua grande eficiência, resulta em efluente de alta qualidade, o qual usualmente atende a padrões de descarte para rios de Classe 2 além do seu reúso indireto, seja industrial, para recarga de aquíferos, uso agrícola ou mesmo para uso urbano, este sendo para fins não potáveis.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a efetividade do sistema de microfiltração para o pós-tratamento de efluente de reator RALF.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, foram efetuadas três diferentes coletas de amostras do efluente do reator RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado) da ETE Riozinho, na cidade de Irati – PR, sendo realizados três experimentos, conforme descrito na figura 2.



Figura 2: Fluxograma dos experimentos realizados.

As amostras provenientes do RALF foram caracterizadas para posterior análise dos seguintes parâmetros: DQO, pH, cor aparente, turbidez, *E. coli* e coliformes totais. Após a caracterização das amostras, as mesmas foram submetidas a ensaios em uma unidade piloto de microfiltração, operando sob filtração tangencial. A foto da unidade piloto encontra-se na figura 3.

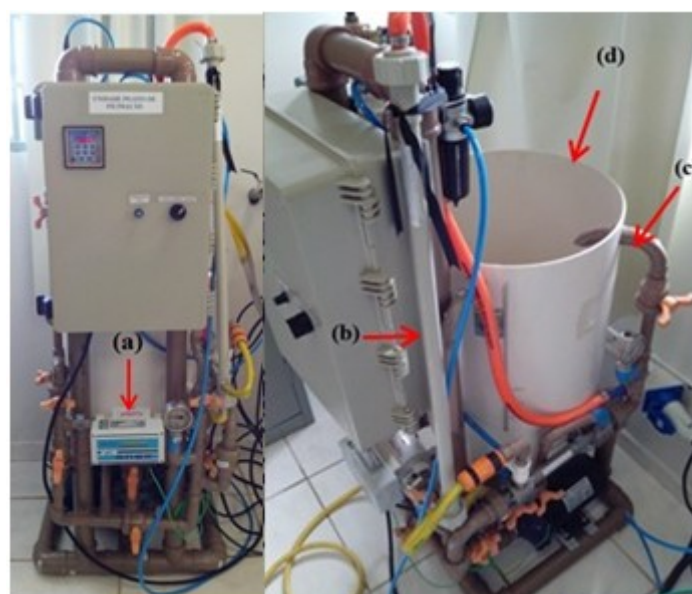


Figura 3: Unidade piloto de microfiltração. (a) medidor de vazão eletromagnético; (b) módulo de membrana; (c) retorno do fluxo de concentrado; (d) tanque de alimentação.

A membrana utilizada no experimento é do tipo tubular de polipropileno, com tamanho de poro  $0,2 \mu\text{m}$  e área filtrante de  $0,036 \text{ m}^2$ . Os experimentos foram operados com pressão de  $3 \text{ Kg/cm}^2$ , e vazão de alimentação de  $4,0 \text{ L/min}$ . Foram realizadas retrolavagens a cada 10 minutos para minimizar o entupimento dos poros durante o processo. O período de operação total empregado para cada ensaio de filtração foi de 120 minutos, com coleta de amostras de permeado a cada 30 minutos.

As análises físico-químicas foram feitas de acordo com o Standard Methods for Examination of the Water and Wastewater (APHA, 1998). Para a quantificação de *E. Coli* e CT, a técnica utilizada foi de filtração em membranas empregando o meio de cultura *Agar Hierome Seletivo ECC Base CAT. M1294* (Himedia) que permite determinar simultaneamente a presença desses microrganismos.

## RESULTADOS

O pH durante todo o tempo de microfiltração não sofreu alteração significativa, mantendo-se próximo ao valor encontrado para o efluente do reator anaeróbio, de 7,0.

A concentração de sólidos suspensos totais para o experimento 2 foi de 84 mg/L e, de 26 mg/L para o experimento 3, para o efluente bruto. Após a realização do ensaio de microfiltração, não foi necessário mensurar a concentração final de SST, devido ao método aplicado para determinação do mesmo consistir na filtração da amostra em papel filtro com poros de 1,2  $\mu\text{m}$ , enquanto que os poros da membrana de microfiltração possuem diâmetro médio de 0,2  $\mu\text{m}$ . No estudo de Arévalo *et al.* (2012), empregando o uso de biorreator a membrana (MBR) com microfiltração para o tratamento de efluentes domésticos, obteve-se também um residual de SST não mensurável, utilizando o método de determinação igual ao do presente estudo. A concentração de sólidos dissolvidos totais para o permeado foi de 196 mg/L, para o experimento 2 e, de 220 mg/L para o experimento 3.

Na Tabela 1 encontra-se a caracterização das amostras de efluente de RALF e de permeado da microfiltração nos experimentos realizados. Na referida tabela encontram-se os resultados obtidos das amostras de permeado coletadas no final da operação da unidade de microfiltração.

**Tabela 1: Valores dos parâmetros cor aparente, turbidez e Demanda Química de Oxigênio – DQO – para o efluente de reator anaeróbio e após a microfiltração.**

Parâmetro	Efluente RALF			Permeado			Eficiência (%)		
<i>Experimento</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Cor (uC)	1212	586	410	128	60	34	89,43	89,76	91,7
Turbidez (uT)	131	64	143	6,78	7,85	2,32	94,82	87,73	98,3
DQO (mg/L)	238	176	64	91	86	24	61	51	62

Em relação ao parâmetro turbidez, observou-se que após 120 minutos de operação na unidade de microfiltração os valores residuais de turbidez das amostras de permeado foram para o experimento 1 de 6,78uT, para o experimento 2, de 7,85uT e, para o experimento 3, de 2,32 uT, comprovando a grande eficiência de remoção de materiais em suspensão pela membrana, na ordem de 94,8%, 87,7% e 98,3%, respectivamente. Estes valores mostram-se comparáveis com o estudo de Ahn e Song (1999) que realizaram estudos da microfiltração para efluentes sanitários, obtendo valores médios de remoção para este parâmetro de 99,4%. Barbosa (2009) efetuou estudos de microfiltração de efluente sanitário, obtendo eficiência média de remoção de turbidez na ordem de 98,4% e, Vera et al (1997) encontraram uma eficiência média de remoção de 93%, utilizando a microfiltração tangencial para o pós-tratamento de efluentes sanitários, comprovando, novamente, a eficiência da microfiltração para a remoção deste parâmetro.

Já para o parâmetro cor, a microfiltração também mostrou-se eficiente ao longo de 120 minutos de operação, encontrando-se valores de 128 uC, 60 uC e 34 uC ao final desse tempo, com eficiências médias de remoção na ordem de 89,43%, 89,76% e 91,7%, para os experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. Estes valores podem ser novamente relacionados ao estudo de Ahn e Song (1999), os quais obtiveram valores médios de remoção de cor de 76,2%. Subtil et al (2013), utilizando um biorreator de membrana submersa para o tratamento de esgoto sanitário, encontraram uma remoção média no valor de 93% para este mesmo parâmetro.

Os valores para remoção de DQO foram satisfatórios, com eficiência de 61%, 51% e 62%, para os experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. Em estudos realizados por Andrade et al (2001), a eficiência média de remoção de DQO foi de 58%, para ensaios de microfiltração tangencial utilizando uma membrana com poro de 0,2  $\mu\text{m}$ . Já para estudos efetuados por Barbosa (2009), utilizando a microfiltração para pós-tratamento de efluente sanitário, encontrou-se eficiência média de remoção deste parâmetro de 63%. Pelegrin (2004) utilizando microfiltração tangencial para pós-tratamento de efluente sanitário, operando com velocidade tangencial de 1,4 m/s e pressão de 2 Bar, obteve um valor médio de remoção de DQO de 69,1%. Vera et al (1997) alcançaram eficiência média de remoção de 60%, utilizando microfiltração tangencial para o pós-tratamento de efluente sanitário.

As variações obtidas para a remoção dos parâmetros supracitados devem-se ao fato de que as concentrações de entrada do efluente na unidade de microfiltração não eram as mesmas, visto que suas concentrações alteram diariamente, devido a fatores tais como: alterações climáticas, eficiência no tratamento da ETE, entre outros.

## PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

Efluentes de reatores anaeróbios apresentam em geral altas concentrações de microrganismos presentes no seu efluente, o que pode ser notado na Tabela 2. A tabela abaixo demonstra os valores de concentração de microrganismos presentes no efluente do reator anaeróbio e após o tratamento por microfiltração.

Para o cálculo da remoção foi empregado a expressão  $[-\log(N/N_0)]$ , onde N representa o número de microrganismos após a microfiltração e N0 o número inicial de microrganismos presente na amostra de esgoto antes dos ensaios de microfiltração.

**Tabela 2: Caracterização microbiológica de efluente do RALF e do permeado quanto aos microrganismos indicadores, *E. Coli* e CT e seu log de remoção.**

	E.Coli (UFC/100 ml)		Coliformes Totais (UFC/100 ml)	
Experimento	2	3	2	3
Efluente RALF	$1,0 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^5$
Permeado	13	1	10	5
Log de Remoção	5,88	4,69	7,6	5,06

De acordo com a tabela 2, a eficiência de remoção de microrganismos foi excelente, com valores de remoção de *E. Coli* de 5,88 e 4,69 log e, para remoção de CT nos valores de 7,6 e 5,06 log, para os experimentos 2 e 3, respectivamente. Pelegrin (2004) realizou ensaios de microfiltração utilizando efluentes de lodos ativados, alcançando remoções de CT que variaram entre 3,55 e 4,71 log.

## CONCLUSÕES

Com o presente trabalho, pode-se concluir que:

A unidade de microfiltração mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros cor, turbidez, DQO, apresentando eficiências médias de remoção na melhor condição operacional na ordem de 91,7%, 98,3% e 62%, respectivamente.

A remoção de *E. Coli* e CT também foi excelente após a microfiltração, obtendo valores de remoção de 5,88 e 4,69 log para *E. Coli* e, 7,6 e 5,06 log para CT, com residual para *E. Coli* de 13 e 1 UFC/100 ml e, para CT com residual de 10 e 5 UFC/100 ml, respectivamente, com eficiência média de 99,99% para os dois microrganismos analisados.

De forma geral, a microfiltração tangencial mostrou-se uma alternativa interessante para o tratamento avançado de efluentes de reatores anaeróbios, visto que o efluente gerado apresentou excelente qualidade microbiológica, podendo algumas vezes ser viável até mesmo o seu reúso, além de ser um sistema compacto de tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-MALACK, M.H; ANDERSON, G.K. Coagulation-crossflow microfiltration of domestic wastewater. Journal of Membrane Science 121. The University of Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne, UK. 1996.
2. AHN, K. H.; SONG, J. H. Treatment of domestic wastewater using microfiltration for reuse of wastewater. Cheongryang, Seoul 130-650, Korea. Desalination, 126 (1999).



3. ANDRADE, J. F.; ELIAS, R. J.; WOLF, D. B.; COSTA, R. H. R.; LAPOLLI, F. R. Microfiltração de efluente sanitário tratado através do processo de lodos ativados. In *Anais do 21º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental*, João Pessoa, 2001.
4. APHA (1998). *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 19 ed., Washington.
5. ARÉVALO, J.; RUIZ, J. A.; PARADA-ALBARRACÍN, D. M.; GONZÁLEZ-PÉREZ, J. PÉREZ, B. MORENO, M.A. Wastewater reuse after treatment by MBR. Microfiltration or ultrafiltration? Granada, Spain. *Desalination*, 299 (2012) p. 22 – 27.
6. ARROJO, B. et al. A membrane coupled to a sequencing batch reactor for water reuse and removal of coliform bacteria. *Desalination*, v. 179, n. 1, p. 109-116, 2005.
7. BARBOSA, I. L. Avaliação de processos de separação por membranas para geração de águas de reúso em um centro comercial. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
8. KOROS, W.J.; MA, Y.H.; SHIMIDZU, T. Terminology for membranes and membrane processes. *Journal of Membrane Science*. V.20,149-159 p., 1996.
9. LEW, B., TARRE, S., BELIAVSKI, M., DOSORETZ, C., & GREEN, M. Anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 243. 2009. p. 251-257.
10. MASCARENHAS, L.C.A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, A.L. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasa, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.45-54, 2004.
11. METCALF, L.; EDDY, H. P. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 4.ed., New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.
12. PELEGRIN, D. C. Microfiltração tangencial de efluente sanitário após tratamento biológico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Florianópolis; Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2004. 114 p.
13. SCHNEIDER, R. P., TSUTIYA, M. T. *Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reúso*. 1 ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES São Paulo, 2001. 233 p.
14. SUBTIL, Eduardo Lucas; HESPANHOL, Ivanildo; MIERZWA, José Carlos. Submerged membrane bioreactor (sMBR): a promising alternative to wastewater treatment for water reuse. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 3, p. 129-142, 2013.
15. VERA, L. et al. Cross-flow microfiltration of biologically treated wastewater. *Desalination*, v. 114, n. 1, p. 65-75, 1997.
16. VIDAL, C.M.S. Avaliação da microfiltração tangencial como alternativa de tratamento avançado de efluente de reator UASB seguido de tanque de aeração. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2006.