

## II-254 - PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO POR MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO

**Ricardo Rodrigues de Souza<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Especialista em Gestão Agroambiental pelas Faculdades do Centro do Paraná – UCP. Estudante do Programa de Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UNICENTRO e Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Bolsista CAPES. Professor no Ensino Básico, Técnico e Tecnológico no Instituto Federal do Paraná (IFPR), Câmpus Ivaiporã.

**Isabella Lampa Freire**

Engenheira Ambiental pela UNICENTRO.

**Carlos Magno de Sousa Vidal**

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo – USP.

**Jeanette Beber de Souza**

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo – USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Rio Grande do Sul, 350 – Apto 02 - Centro - Ivaiporã - PR - CEP: 86870-000 - Brasil - Tel: (43) 9924-5177 - e-mail: [ricardo.souza@ifpr.edu.br](mailto:ricardo.souza@ifpr.edu.br)

### RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação da microfiltração e ultrafiltração no pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF), analisando a colmatção das membranas e a eficiência de remoção de poluentes. O trabalho foi realizado por meio de ensaios de pós-tratamento de efluente de RALF em uma unidade piloto de membranas com módulos de microfiltração e ultrafiltração. Os resultados apontam que os módulos de microfiltração e ultrafiltração produziram permeados com baixas concentrações dos parâmetros investigados como DQO, turbidez, CT, *E. coli* e SST. Contudo, a ultrafiltração se demonstrou mais seletiva pelos resultados mais satisfatórios com eficiência média de remoção de 98,74%, 99,71 e 98,73 para turbidez, *E. coli* e SST, respectivamente. É possível afirmar, devido ao fluxo médio de permeado obtido, que as membranas de ultrafiltração sofreram maior colmatção. No presente trabalho, é evidenciada a viabilidade da adoção de processos de separação por membranas em fluxogramas de tratamento de esgotos, como pós-tratamento de efluentes de reatores biológicos anaeróbios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microfiltração, ultrafiltração, separação por membranas, pós-tratamento de esgotos, tratamento de esgoto sanitário.

### INTRODUÇÃO

No Brasil, o tratamento biológico dos esgotos gerados tem sido a principal alternativa empregada e os sistemas anaeróbios têm sido consolidados pelos benefícios que oferecem como: a baixa demanda de área, baixo custo de implantação, curto tempo de detenção hidráulica, baixa produção de sólidos, capacidade de tolerar cargas orgânicas elevadas, possibilidade de aplicação em diferentes escalas e operação simplificada do sistema (CHERNICHARO, 2007).

Os reatores anaeróbios mais empregados no tratamento de esgoto sanitário são os UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidificado), porém geram efluentes que necessitam de pós-tratamento para a melhor remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Segundo Schneider & Tsutiyu (2001), a ótima qualidade obtida de efluente final quando se utilizam membranas de microfiltração para o pós-tratamento de efluentes secundários - gerados em distintas unidades de tratamento biológico - tem atendido, em muitas ocasiões, a padrões de emissão para águas de Classe 2 e para reúso industrial, agrícola, entre outros.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicação da microfiltração e ultrafiltração no pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF), analisando a colmatção das membranas e a eficiência de remoção de poluentes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado por meio de ensaios de pós-tratamento de efluente de reator biológico (RALF) em uma unidade piloto de membranas com módulos de microfiltração e ultrafiltração.

As amostras foram coletadas do efluente do RALF da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Rio das Antas, em Irati-PR.

A caracterização dos parâmetros foi realizada para: i) amostras do efluente do RALF (bruto) e ii) efluente tratado (permeado) em unidades de microfiltração e ultrafiltração.

Os parâmetros ambientais determinados para os tratamentos foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo (P), Sólidos Totais (ST), Sólidos Suspensos Totais (SST), turbidez, cor verdadeira, cor aparente, temperatura, pH, condutividade, coliformes totais (CT) e *E.coli*. Todos os parâmetros físico-químicos e exames microbiológicos seguiram as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

Os ensaios de tratamento por membranas foram conduzidos em unidade piloto de membranas de microfiltração e ultrafiltração em escala laboratorial com equipamento de bancada obtido junto à PAM Membranas Seletivas Ltda. Todo experimento, bem como a caracterização dos parâmetros ambientais avaliados foram realizados em triplicata.

O sistema utilizado opera por inicialização de uma bomba do tipo diafragma, que atinge pressões de até 4 bar que bombeia o efluente de um tanque de armazenamento de polipropileno com 10 litros de capacidade, até o módulo de filtração. O piloto trabalha com a filtração na forma tangencial, sendo o fluxo do permeado do meio externo para meio interno das fibras filtrantes. O sistema operou com a recirculação total de permeado e concentrado para o reservatório de alimentação.

Foi determinada a operação com pressão de 0,5 bar sobre o concentrado após a avaliação do fluxo crítico, conforme experimentos prévios. O intervalo entre as retrolavagens foi de 10 minutos, com tempo de duração de aproximadamente 30 segundos. As amostras de permeado foram coletadas em intervalos a cada 20 minutos após início de cada operação durante um período total de 2 horas de operação em cada batelada.

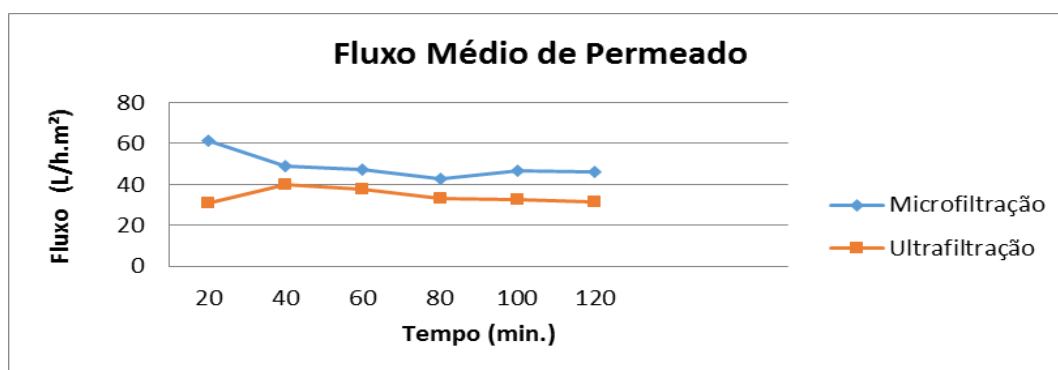
A microfiltração e a ultrafiltração ocorreram em momentos distintos, sendo necessária a troca do módulo de membranas para cada processo. As membranas de microfiltração e ultrafiltração selecionadas para o experimento possuem área filtrante de 0,059 m<sup>2</sup>, tamanho médio dos poros da superfície externa das fibras de 0,4 µm e diâmetro externo das fibras entre 0,9 e 1,0 mm para microfiltração e 0,8 e 0,9 mm para ultrafiltração.

As eficiências de microfiltração e ultrafiltração foram avaliadas por meio do perfil do fluxo de permeado obtido e pela comparação das amostras de permeado coletadas, assim como as análises de caracterização para os parâmetros ambientais considerados no estudo.

## RESULTADOS

A partir da caracterização dos parâmetros do efluente do RALF (bruto) e da análise dos parâmetros do permeado obtido após o processo de microfiltração e ultrafiltração, os resultados foram organizados para a observação das eficiências de remoção média para os parâmetros estudados.

Na Figura 1 a seguir, é exposto o perfil do fluxo de permeado obtido nos processos de microfiltração e ultrafiltração no decorrer do tempo.



**Figura 1 – Fluxo médio do permeado para microfiltração e ultrafiltração**

É possível notar que os fluxos dos dois processos de filtração diminuíram com o decorrer do tempo, isto se deve a colmatagem sobre a superfície da membrana, que ocorre por formação de biofilme sobre a superfície e/ou por entupimento dos poros da membrana causado pela retenção material particulado e coloidal, que aumenta ao decorrer do processo.

Segundo COPPEN (2004), a diminuição do fluxo da filtração ao longo do tempo é esperada, já que declínio do fluxo devido à colmatagem é considerado o principal problema que afeta os processos de tratamento por membranas. Esta complicação pode ser controlada pela retrolavagem e pela lavagem química das membranas. O perfil do fluxo médio de ultrafiltração é menor desde o início da operação, uma vez que os poros da membrana são menores quando comparados aos poros das membranas de microfiltração.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos na caracterização da amostra bruta do efluente de RALF coletado a efeito de uso na quantificação das eficiências de remoção para os diferentes parâmetros investigados.

**Tabela 1 - Caracterização da amostra de efluente de RALF (bruto) utilizado**

Parâmetro	Unidade	Valor
<b>DQO</b>	mg/L	111
<b>Turbidez</b>	NTU	37,2
<b>Cor Aparente</b>	uC	289
<b>Cor Verdadeira</b>	uC	89
<b>Fósforo</b>	mg/L	3,2
<b>Condutividade</b>	µS/m	489,2
<b>pH</b>	-	6,97
<b>E. Coli</b>	(UFC/100mL)	1,5. 10 <sup>6</sup>
<b>Coliformes Totais</b>	(UFC/100mL)	5,6. 10 <sup>6</sup>
<b>SST</b>	mgSST/L	31
<b>ST</b>	mgST/L	190

Os valores do efluente bruto são apresentados com o objetivo estudo das características do efluente do processo convencional de tratamento, bem como a avaliação da eficiência dos processos de separação de membranas estudados.

Nas tabelas 2 e 3 a seguir, estão apresentados os dados de caracterização das amostras de permeado (tratado) nas unidades de microfiltração e ultrafiltração. São apresentados os dados de valor mínimo, máximo, médio e desvio padrão para cada parâmetro estudado. Além disso, pode ser visualizada a remoção percentual média calculada para cada parâmetro.

**Tabela 2 - Caracterização do permeado da microfiltração e eficiência média de remoção**

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média /Desvio Padrão	Remoção Percentual Média
DQO (mg/L)	<20	99	47 ± 9	58
Turbidez (NTU)	4,5	16	11,8 ± 1,1	68,2
Cor Aparente (uC)	70	145	116 ± 5,7	59,8
Cor Verdadeira (uC)	34	57	59,7 ± 4,3	32,9
Fósforo (mg/L)	1,42	2,38	2,07 ± 0,2	35,31
Condutividade (µS/m)	351,8	405,1	380,84 ± 16,3	22,15
pH	7,58	8,11	7,94 ± 0,12	-
E. Coli* (UFC/100mL)	500	10000	6500 ± 5220,1	95,67
Coliformes Totais* (UFC/100mL)	4000	10000	6667 ± 3055	98,81
SST* (mgSST/L)	1	7	4 ± 3	87,1
ST* (mgSST/L)	120	120	120 ± 0	36,84

\* Os parâmetros *E. coli*, Coliformes Totais, SST e ST foram caracterizados somente no ponto de coleta de permeado do tempo de 120 minutos.

Vidal e Campos (2009) encontraram resultados satisfatórios para diversos parâmetros com o uso de MF, sendo que para o fósforo foram observados valores < 2,2 mgP/L. Pode-se dizer que no presente estudo chegou-se a valores semelhantes uma vez que o maior valor observado foi de 2,38 mgP/L onde a média obtida foi de 2,07 mgP/L.

**Tabela 3 - Caracterização do permeado da ultrafiltração e eficiência média de remoção**

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média /Desvio Padrão	Remoção Percentual Média
DQO (mg/L)	<20	86	45,28 ± 7,2	59
Turbidez (NTU)	0,17	0,87	0,47 ± 0,09	98,74
Cor Aparente (uC)	19	35	25,7 ± 2,4	91,11
Cor Verdadeira (uC)	16	33	22,2 ± 2,5	75,06
Fósforo (mg/L)	1,6	3,32	1,96 ± 0,2	38,75
Condutividade (µS/m)	318,1	414,6	366,12 ± 24,5	25,16
pH	7,68	8,24	7,95 ± 0,08	-
E. Coli* (UFC/100mL)	1	700	433,67 ± 378	99,71
Coliformes Totais* (UFC/100mL)	2	700	467,33 ± 402,9	99,91
SST* (mgSST/L)	0	1	0,33 ± 0,6	98,93
ST* (mgSST/L)	140	160	100 ± 87,2	47,37

\*Os parâmetros *E. coli*, Coliformes Totais, SST e ST foram caracterizados somente no ponto de coleta de permeado do tempo de 120 minutos.

Os dados apresentados nas tabelas 2 e 3 demonstram que os módulos de microfiltração e ultrafiltração produziram permeados com baixas concentrações dos parâmetros investigados. Todavia, é notável o melhor desempenho da membrana de ultrafiltração que removeu com elevada eficiência materiais em suspensão e obteve os melhores índices de remoção para os indicadores microbiológicos estudados. A remoção média de CT e *E. coli* na ultrafiltração foi elevada, sem a necessidade de utilização de produtos químicos com fins de desinfecção para atingir boa qualidade microbiológica nas amostras de permeado obtidas.

Kim et al (2002) ao utilizarem membranas de ultrafiltração para o tratamento de efluente secundário de uma ETE que trata esgotos domésticos combinados com efluentes industriais, encontraram ótima eficiência para a

remoção de turbidez com valores residuais abaixo de 1,15 NTU. Ao observar os resultados obtidos no presente estudo no que diz respeito à turbidez, pode-se dizer que os resultados encontrados atingiram valores inferiores aos observados pelo autor já que o valor máximo observado após a ultrafiltração foi de 0,87 NTU, atingindo uma eficiência média de remoção de 98,74%.

Fane (1996) afirma que a utilização de unidades de microfiltração no tratamento avançado de esgoto produz efluente praticamente ausente de sólidos em suspensão. Tal fato foi verificado para os resultados de microfiltração que obtiveram em média 4 mgSST/L, enquanto a ultrafiltração obteve resultados ainda mais satisfatórios na média de 0,33 mgSST/L. É importante ressaltar ainda, que tanto na microfiltração quanto na ultrafiltração os resultados para SST foram considerados satisfatórios onde a remoção média foi de 87,1% e 98,93%, respectivamente.

## CONCLUSÕES

Com os resultados apresentados é possível comprovar a eficiência da microfiltração e ultrafiltração na remoção de DQO, fósforo, cor aparente e verdadeira, turbidez, *E. coli* e coliformes totais.

A ultrafiltração se mostrou mais seletiva e proporcionou resultados mais satisfatórios na remoção da maioria dos parâmetros monitorados. Pode-se dizer, que o mesmo ocorreu com a remoção média dos indicadores de microrganismos patogênicos pela análise dos resultados de *E.coli* e CT.

Quanto à colmatação das membranas, é possível afirmar devido ao fluxo médio de permeado obtido, que as membranas de ultrafiltração sofreram maior colmatação do que a microfiltração, o que já era esperado, baseado na hipótese das membranas de ultrafiltração possuírem menor tamanho médio de poros.

Em suma, devido à boa qualidade do efluente final gerado nos tratamentos, é evidenciada a viabilidade da adoção de processos de separação por membranas em fluxogramas de tratamento de esgotos, como pós-tratamento de efluentes de reatores biológicos anaeróbios com vistas ao auxílio na remoção de parâmetros remanescentes do tratamento secundário de forma efetiva bem como a possibilidade da avaliação do reúso do permeado para diferentes fins.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a Fundação Araucária o apoio financeiro para participação neste evento e à CAPES pelo apoio com bolsa de mestrado concedida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20 ed., Washington.
2. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores anaeróbios. 2ª ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 380 p.
3. COPPEN, J. Advanced wastewater treatment systems. 2004 Dissertação de Mestrado, University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying. Toowoomba, 2004.
4. FANE, A. G. (1996). Membranes for water production and wastewater reuse. Desalination, n 106, p. 1-9.
5. KIM, S.L; CHEN, J.P; TING, Y.P. (2002). Study on feed pretreatment for membrane filtration of secondary effluent. Separation and Purification Technology, v. 29; p 171-179.
6. SCHNEIDER, R. P.; TSUTTIYA, M. T. (2001). Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso. 1ed., São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 234p.
7. VAN HAANDEL, A.C. e LETTINGA, G. (1994) Tratamento anaeróbio de esgotos: Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande - Paraíba, 240p.
8. VIDAL, C.M.S.; CAMPOS, J.R. (2009) Coagulação associada à microfiltração para o tratamento avançado de esgoto sanitário. Ambiência, n.1, v.5, p. 101-114.