



## II-045 - CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE ORIUNDO DE CENTRO COMERCIAL PARA GERAR ÁGUA DE REÚSO

### Ivy Lago Barbosa<sup>(1)</sup>

Microbiologista e Imunologista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Escola de Química (EQ), UFRJ. Integrante da Equipe do Núcleo Integrado para Reúso de Águas e Efluentes do Estado do Rio de Janeiro (NIRAE -RJ).

### Carla Rênes Alencar Machado

Licenciada em Química pela UFRJ. Mestranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – EQ-UFRJ.

### André Rodrigues Pereira

Engenheiro Químico pela UFRJ. Mestrando em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – EQ-UFRJ.

### Lídia Yokoyama

Mestrado em Engenharia Metalúrgica - PUC-RJ. Doutorado em Química - PUC-RJ. Professora Adjunta do Depto de Processos Inorgânicos – Escola de Química - UFRJ. Integrante do NIRAE-RJ

### Juacyara Carbonelli Campos

Engenheira Química pela Escola de Química/UFRJ. Doutora em Engenharia Química/Tecnologia Ambiental pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química - UFRJ. Integrante do NIRAE-RJ

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes- Sala I-124 / Escola de Química /Centro de Tecnologia /UFRJ. Avenida Athos da Silveira Ramos, 149 Cidade Universitária- Ilha do Fundão – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: +55 (21) 25627346 - e-mail: ivylagobarbosa@yahoo.com.br

## RESUMO

A preocupação com uma possível crise da água em nível global vem alarmando populações em diversos países no mundo. Estudos alertam para os riscos da falta da água em curto prazo. Buscando melhorar a qualidade dos recursos hídricos e solucionar os problemas de escassez de água, há um grande interesse por tratamento de efluentes que atinjam padrões de qualidade compatíveis com o reúso. Entre as alternativas existentes para viabilizar o reúso, o desenvolvimento das técnicas de separação dos materiais por membranas ganha grande destaque. Essas técnicas apresentam as vantagens de serem operadas sem aditivos e possibilitar separação seletiva de materiais. Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização do processo com membranas como etapa terciária de um sistema de lodos ativados de um centro comercial do Rio de Janeiro para gerar água com qualidade de reúso. Foram utilizadas quatro diferentes membranas: (1) microfiltração (0,5µm), (2) ultrafiltração (50kDa), (3) nanofiltração (25-40% retenção Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e (4) microfiltração (0,5µm) seguida de osmose inversa (99,5 % retenção Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). As membranas de micro e ultrafiltração eram do tipo fibra oca e as membranas de nanofiltração e osmose inversa eram planas. O efluente e os permeados foram caracterizados para avaliar a qualidade de remoção dos processos. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, turbidez, alcalinidade, nitrogênio amoniacal, fósforo dissolvido, cloreto, DQO, DBO, SDT, SST, E. coli, MBAS, cálcio, magnésio, COT, sílica e condutividade, além da evolução do fluxo de permeado, entupimento da membrana e eficiência da lavagem (realizada com hipoclorito de sódio). Os resultados indicaram que os permeados dos processos de micro e ultrafiltração podem ser reutilizados em descargas em vasos sanitários. Já o permeado da nanofiltração poderia ser reutilizado em lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário, se passasse por cloração. O permeado da osmose inversa poderia ser reutilizado em sistemas semi-abertos de resfriamento, além de todos já citados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processo de Separação por Membranas. Reúso de Água. Tratamento Terciário de Efluente



## INTRODUÇÃO

A preocupação com uma possível crise da água em nível global vem alarmando populações em diversos países no mundo. Diversos estudos publicados alertam para os riscos da falta da água em curto prazo. Segundo informações da Organização Mundial da Saúde, água já é escassa para um bilhão de habitantes. Entender a água como um direito humano fundamental é um dos princípios básicos para o setor público e privado (PETRELLA, 2001).

O reúso planejado de águas residuárias não é um conceito novo e já é praticado há muitos anos (SCHNEIDER et al., 2001). Este comportamento deve ser cada vez mais considerado, pois a recuperação da água reduz a demanda sobre os mananciais de água bruta. Entre as alternativas existentes para viabilizar o reúso, o desenvolvimento das técnicas de separação dos materiais por membranas ganha grande destaque. As técnicas de separação por membranas apresentam as vantagens de serem operadas sem aditivos e possibilitar separação seletiva de materiais (LAPOLLI, 1998; STEPHEENSON, 2000).

Os sistemas de tratamento de esgoto sanitários, em geral, resultam em bom nível de redução de matéria orgânica. No entanto, somente, tratamentos avançados levam a uma significativa redução bacteriológica, e a remoção de contaminantes que permitem reúso para fins mais nobres (STEPHEENSON, 2000; FANE et al., 2000). A tecnologia de membranas já é efetiva no tratamento de águas para abastecimento e contribui para resolver problemas de ordem sanitária ligados aos esgotos. Ainda, essa técnica de tratamento evita a geração de subprodutos tóxicos, como os trihalometanos, pela interação de moléculas não biodegradáveis com oxidantes clorados (HABERT et al., 2006; LAPOLLI, 1998).

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a utilização do processo com membranas como etapa terciária de um sistema de tratamento convencional de efluente de um grande centro comercial do Município do Rio de Janeiro para gerar água com qualidade de reúso.

## MATERIAS E MÉTODOS

Foram utilizadas quatro diferentes membranas (1) microfiltração (0,5 $\mu$ m), (2) ultrafiltração (50kDa), (3) nanofiltração (25-40% retenção Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e (4) microfiltração (0,5 $\mu$ m) seguida de osmose inversa (99,5 % retenção Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). As membranas de micro e ultrafiltração eram do tipo fibra oca e as membranas de nanofiltração e osmose inversa eram planas.

Nos ensaios de micro, ultra e nanofiltração, utilizou-se o efluente sanitário tratado em uma ETE de lodos ativados de um Centro Comercial situado na cidade do Rio de Janeiro. Já no ensaio de osmose inversa, foi utilizado como alimentação do sistema, o permeado de uma microfiltração feita a partir do efluente tratado do centro comercial.

Para avaliar os parâmetros hidrodinâmicos, os ensaios de permeação foram divididos em 4 etapas: (1) Determinação de permeabilidade hidráulica inicial: Foram colocados no sistema 4 litros de água deionizada e autoclavada. Variou-se a pressão do sistema em 3 valores distintos e mediu-se o fluxo permeado para cada valor de pressão. O coeficiente angular da reta leva ao valor da permeabilidade hidráulica da membrana. As permeabilidades hidráulicas pós-filtração e pós-limpeza, foram feitas da mesma maneira. (2) Operação: Durante a primeira meia hora, as correntes de concentrado e de permeado retornaram ao tanque de alimentação. No restante do tempo, o concentrado retornou ao tanque de alimentação e o permeado foi coletado. Ao final de cada teste, alíquotas de permeado foram retiradas para análises. Durante o período de operação foi medida a evolução do fluxo do permeado. As condições operacionais de cada ensaio de permeação podem ser observadas na Tabela 1. (3) Determinação da permeabilidade hidráulica pós filtração (para avaliar o entupimento da membrana. (4) Limpeza do sistema de membranas: Ao final de cada filtração, era adicionado ao vaso de alimentação 5 L de uma solução de NaClO a uma concentração de 500 ppm, para a limpeza das membranas. Essa solução permanecia durante o período de 2 horas circulando em todo o sistema. Após a retirada da solução de NaClO, passava-se água exaustivamente pelo sistema, com intuito de eliminar resíduos da solução. (5) Determinação da permeabilidade hidráulica pós-limpeza.



Tabela 1: Condições de operação de cada ensaio

Membrana	Volume alimentação(L)	Pressão de Operação (bar)	Vazão de alimentação (Lh <sup>-1</sup> )
MF	5	0,5	60
UF	5	2	60
NF	2,5	5	60
OI	3	8	60

Parte das amostras do efluente foi analisada imediatamente após a sua coleta e a maior parte foi tratada pelos PSM. As amostras dos permeados de cada ensaio, também foram analisados imediatamente após sua coleta. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, turbidez, alcalinidade, nitrogênio amoniacal, fósforo dissolvido, cloreto, DQO, DBO, SDT, SST, *E. coli*, MBAS, cálcio, magnésio, COT, sílica e condutividade. A metodologia das análises foi determinada segundo as técnicas estabelecidas pelo Standard Methods (APHA, 2005).

## RESULTADOS RELACIONADOS ÀS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS

A Figura 1 mostra a evolução do fluxo do permeado nos ensaios de micro, de ultra, nanofiltração e osmose inversa, bem como a duração de cada um em minutos. Observa-se que as curvas de cada ensaio apresentam diferenças. A membrana de microfiltração demonstra uma rápida redução de fluxo no início da operação, período entre 20 a 30 minutos, e posteriormente uma tendência a estabilização. Enquanto que a curva de ultrafiltração não apresentou a tendência à estabilização, mas mostrou uma queda do fluxo ao longo do tempo e uma tendência de estabilização. A curva de nanofiltração mostrou uma queda do fluxo ao longo do tempo seguida de um período de estabilização, caracterizando um *fouling* de longo período, sendo esse valor de 20,8 Lm<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> após 6 horas de nanofiltração. A queda do fluxo da microfiltração foi menor do que a da ultrafiltração, que por sua vez, foi semelhante a de nanofiltração, em média 37%, 47% e 46% respectivamente. Já no ensaio da osmose inversa, a queda do fluxo foi de apenas 4,05 %. Isso se deve ao fato de a alimentação ter sido o permeado microfiltrado, pois o fato de apresentar menos partículas faz com que seja minimizado o *fouling* e com isso, o fluxo não apresenta grandes quedas em curto prazo.

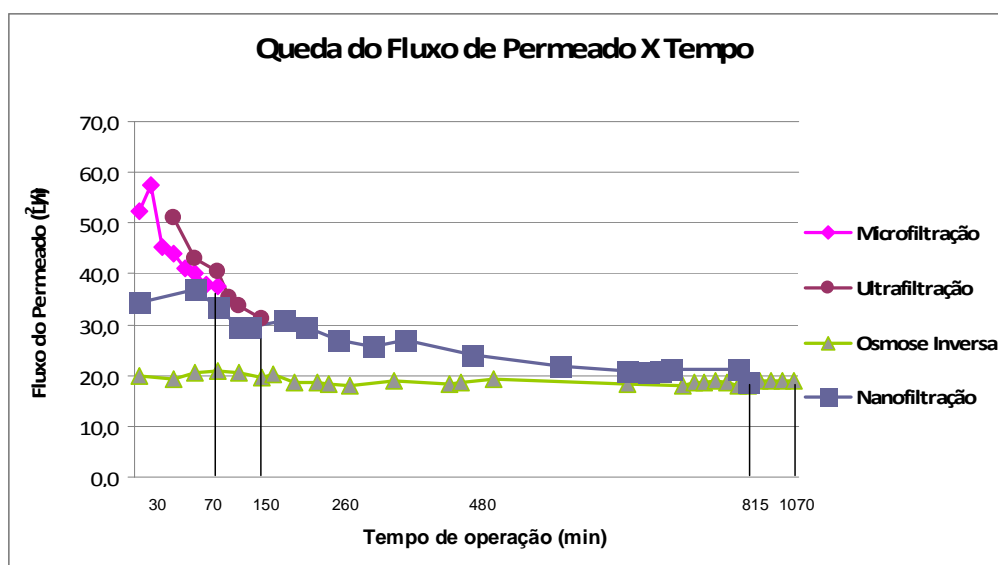


Figura 1: Comportamento do Fluxo no decorrer do tempo



Com o intuito de avaliar efeito do *fouling* após cada operação, foi medida a permeabilidade hidráulica no final de cada ensaio. Na microfiltração houve uma diminuição da permeabilidade de 57%, enquanto que na ultrafiltração, na nanofiltração e na osmose inversa essa queda foi de 71%, 33% e 24% respectivamente. Depois do processo de limpeza, mediu-se novamente a permeabilidade, para saber a respeito do efeito irreversível do *fouling*. Este foi responsável por uma queda de 19% da permeabilidade na microfiltração, enquanto que na ultrafiltração, na nanofiltração e na osmose inversa ele foi responsável por uma queda de 30%, 19% e 19% respectivamente. A Tabela 2 apresenta os valores das encontrados.

**Tabela 2: Valores das permeabilidades hidráulicas de cada ensaio.**

<b>Membrana</b>	<b>Permeabilidade inicial (<math>\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}</math>)</b>	<b>Permeabilidade pós uso(<math>\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}</math>)</b>	<b>Permeabilidade pós limpeza(<math>\text{Lm}^{-2}\text{h}^{-1}\text{bar}^{-1}</math>)</b>
<b>MF</b>	54,04	23	43,32
<b>UF</b>	55,09	15,64	38,43
<b>NF</b>	15,54	10,40	12,54
<b>OI</b>	10,04	7,90	8,16

## RESULTADOS RELACIONADOS À QUALIDADE DOS PERMEADOS OBTIDOS

Para avaliar aplicações dos permeados obtidos como água de reúso, foram analisados parâmetros químicos, físicos e microbiológicos, que se encontram na Tabela 3.



**Tabela 3: Valores médios dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados nos permeados obtidos de cada membrana.**

Parâmetros	MF	UF	NF	OI
pH	7,4	7,4	6,8	8,6
Turbidez (NTU)	0,9	0,29	0,02	0,02
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	253	259	132	0
Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	52	56	40	7,5
Fósforo reativo dissolvido (mg/L)	0,46	1,2	0,35	0,01
Cloreto (mg/L)	107	104	62	3,7
DQO (mg/LO <sub>2</sub> )	53,6	35,1	30,2	25,0
DBO (mg/LO <sub>2</sub> )	12	4,3	4,1	9,0
SDT (mg/L)	270	240	30,0	28,0
SST (mg/L)	24,0	6,0	4,0	4,0
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	0	0	0	0
MBAS (mg/L)	0,7	0,5	0,4	0,1
Cálcio (mg/L)	9,4	9,8	0,5	0,3
Magnésio (mg/L)	1,5	2,2	0,07	0,04
COT (mg/L)	12,2	13,5	3,9	ND
Sílica (mg/L)	6,41	6,44	4,55	0
Condutividade $\mu$ S/cm a 25°C	754	740	551	498

Os parâmetros analisados da ultrafiltração apresentaram-se bem semelhantes aos analisados nos ensaios de microfiltração, exceto o SST, que apresentou uma remoção de 46,67% no ensaio de microfiltração e de 90,91% no ensaio de ultrafiltração. Vale ressaltar que esses dois permeados apresentavam uma cor amarelada.

Assim como a nanofiltração, todos os parâmetros analisados na osmose inversa apresentaram reduções expressivas, e o pH não apresentou grande variação, demonstrando que a osmose inversa deu origem a um permeado de excelente qualidade. Esses dois permeados não apresentavam cor. Vale ressaltar que as taxas de remoção da osmose inversa foram maiores que a da nanofiltração.

Comparando a Tabela 3.1 com a norma técnica NBR-13.696, que definiu quatro classes de água de reúso e seus respectivos padrões de qualidade, o permeado de microfiltração se enquadra nas exigências da classe 2



(cujas aplicações são lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes) e da classe 3 (cuja aplicação é descarga em vasos sanitários). O permeado de ultrafiltração que apresenta características muito semelhantes ao de microfiltração, se enquadra nas mesmas classes. Para se enquadrarem na classe 2, os permeados deverão passar por um processo de cloração, assim como é feito em estações de tratamento de água, para que a concentração de cloro residual atinja a faixa de 0,5 mg/L a 1,5 mg/L.

De acordo com a mesma tabela, o permeado de nanofiltração e osmose inversa, além de se enquadrarem nas classes 2 e 3, também se enquadram na classe 1, cujas aplicações são lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário. Esses permeados também necessitam passar pelo processo de cloração para atenderem às exigências das classes 2 e 3.

Dos parâmetros analisados, o responsável pelo permeado da Osmose Inversa não se enquadrar nos parâmetros da Tabela 3.4 é o nitrogênio amoniacal. O efluente secundário (alimentação) possuía uma concentração muito elevada (61,4 mg/L), que inclusive está fora dos padrões de descarte da FEEMA (legislação do Estado do RJ) que é 5 mg/L. Possivelmente, se o tratamento secundário melhorasse a sua operação, o nitrogênio amoniacal estaria enquadrado aos requisitos de reúso. Segundo Semura *et al* (2005), que cita os padrões utilizados pela SABESP, o permeado de osmose inversa poderia ser utilizado em usos não potáveis irrestritos e para fornecimento para sistemas semi-abertos de resfriamento.

Para os ensaios, as análises bacteriológicas promoveram uma redução de 100% confirmando que os processos são eficazes na redução bacteriológica.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram realizados diversos ensaios utilizando processos de separação com membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa) como etapa terciária de tratamento de um efluente gerado em um centro comercial no município do Rio de Janeiro, tendo como meta o enquadramento para o reúso.

Os resultados indicaram que os permeados dos processos de micro e ultrafiltração podem ser reutilizados em descargas em vasos sanitários. Já o permeado da nanofiltração poderia ser reutilizado em lavagem de pisos, calçadas e irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, lavagem de carros e outros usos com contato direto com o usuário, se passasse por cloração. O permeado da osmose inversa poderia ser reutilizado em sistemas semi-abertos de resfriamento, além de todos já citados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação de Normas Técnicas. NBR 13969 “Tanques sépticos Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação”. 1997. 60 p.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
3. FAN, X-J; URBAIN, V.; QUIAN, Y.; MANEM, J. Ultrafiltration of Activated Sludge with Ceramic Membranes in a Cross Flow Membrane Bioreactor Process. Water Science & Technology. First World Water Congress, Vol. 43, Nº 10-11, p. 243-250, 2000.
4. HABERT, A.C., BORGES, C.P. & NÓBREGA, R. “ Processos de separação com membranas”, Escola piloto em engenharia química, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
5. LAPOLLI, F. R. Biofiltração e Microfiltração Tangencial para Tratamento de Esgotos. 186p. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – SP, 1998.
6. PETRELLA, R. O Manifesto da Água- Argumentos para um contrato mundial. 159 p., 2001.
7. SEMURA, K.A.; GONÇALVES, M. C. E. RICCITELLI, M. Estudo para implantação de reúso e proposição de parâmetros de qualidade para usos urbanos não potáveis a partir das ETES da RMS. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande-MS. Brasil 2005.
8. STEPHENSON, T. et al. Membrane Bioreactors for wastewater treatment. Publishing IWA, London, 179 p, 2000.