

II-373 – MÓDULOS DE FIBRA OCA SUBMERSOS PARA POLIMENTO FINAL DE ESGOTO TRATADO DE UM SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUAS**Victor Surerus⁽¹⁾**

Engenheiro Ambiental formado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) com mestrado em Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos pela mesma instituição. Pesquisador da PAM MEMBRANAS SELETIVAS LTDA.

Gabriela Marques dos Ramos

Engenheira Química formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Doutora em Engenharia química pela COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Gerente do setor de Pesquisa e Desenvolvimento da PAM MEMBRANAS SELETIVAS LTDA.

Roberto Bentes de Carvalho

Engenheiro Químico formado Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Engenharia Química pela COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutor em Engenharia química pela COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Diretor técnico e comercial e sócio da PAM MEMBRANAS SELETIVAS LTDA.

Endereço⁽¹⁾: Rua Pompeu Loureiro, 79/401 – Copacabana – Rio de Janeiro/RJ – CEP: 22061-000 – Brasil – Tel.: (21) 2549-5605 – e-mail: victor.surerus@gmail.com

RESUMO

Os tratamentos convencionais de tratamento de esgotos e efluentes industriais não apresentam qualidade suficiente para serem utilizados com fins nobres como irrigação, lavagem de pátios, vasos sanitários etc. Neste sentido, a tecnologia de tratamento de efluentes com membranas torna o processo viável financeiramente uma vez que os custos elevados da distribuição da água compensam o investimento com os equipamentos e com a operação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo estudar o processo de Microfiltração (MF) como polimento de tratamento convencional de esgoto. O estudo é realizado em supermercado situado no município do Rio de Janeiro/RJ, onde o processo de Microfiltração é precedido por tratamento biológico aeróbio, seguido de decantação. Como no esgoto tratado pelos processos convencionais estão presentes sólidos suspensos, a incrustação na membrana torna-se o principal problema desta tecnologia. Visando contornar e aumentar o fluxo de permeado, verificou-se o efeito de diferentes densidades de empacotamento (300, 500 e 800 m²/m³) e vazões de aeração (1, 2 e 3 N m³/h) sobre o fluxo de permeado. Os resultados mostram que a melhor densidade de empacotamento é de 300 m²/m³, mantendo o fluxo de permeado com valor mais alto e mais estável com o tempo. A vazão de aeração mantida a 3 N m³/h provocou maiores fluxos médios de permeado em comparação com as vazões de 1 e 2 N m³/h.

PALAVRAS-CHAVE: Microfiltração, polimento, reuso, aeração.

INTRODUÇÃO

As previsões referentes à disponibilidade de água potável, para o presente milênio, são extremamente pessimistas. Em função disso, governos e entidades privadas vêm propondo uma série de ações visando minimizar o desperdício e preservar os seus mananciais. Além disso, a sociedade também tem buscado aprimorar as técnicas de tratamento dos efluentes aquosos, com o objetivo de diminuir os danos ambientais e possibilitando, em muitos casos, a reutilização da água tratada em usos urbanos não potáveis ou uso potável indireto.

O reuso de água na indústria e nas empresas tem se tornado uma alternativa bastante viável economicamente, evitando consumo de água tratada pública, cujo custo aumenta regularmente sem, contudo, manter a qualidade desejável.

No processo de MF, o solvente e todo o material solúvel permeiam a membrana. Por outro lado, o processo retém todos os materiais em suspensão e na forma de micro emulsão, bem como 99,99% dos microrganismos presentes no efluente, fornecendo um microfiltrado sanitizado e isento de sólidos. Assim, a utilização da

microfiltração como tratamento de efluentes aquosos possibilita o reuso da água tratada em algumas etapas do processo da própria indústria ou para água de irrigação e sanitários.

O mercado da MF gira em torno de 1 bilhão de dólares, sendo o maior mercado dos PSM depois da hemodiálise (rim artificial). Os maiores mercados da MF são: esterilização de líquidos e gases; aplicações na medicina; aplicações na biotecnologia e na purificação de fluidos.

O presente trabalho apresenta os resultados de operação e monitoramento de uma planta de produção de água de reuso através do processo de MF como polimento final de efluentes sanitários tratados biologicamente.

O efluente é proveniente de um supermercado situado no município do Rio de Janeiro/RJ. Após o polimento, o efluente tratado é encaminhado para o tanque de reuso e utilizado para rega e limpeza de pátio, além de descarga nos banheiros do estabelecimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta fotos da ETE biológica (a) e do equipamento de MF (b e c) utilizados para produção de água de reuso.



(a)



(b)



(c)

Figura 1: (a) ETE biológica, (b e c) Unidade de MF submersa.

O equipamento de MF opera em ciclos de filtração e limpeza, semi-automatizados por temporizadores e solenoides. O equipamento é composto por tanque de afluente, tanque de permeado, módulo de MF submerso, quadro elétrico, manômetro, rotâmetro, válvulas agulha, bombas pneumática e centrífuga e compressor.

As membranas utilizadas são produzidas pela PAM MEMBRANAS SELETIVAS na forma de fibra oca. Essas fibras possuem 1,0 mm de diâmetro externo, com poros em sua camada seletiva externa em torno de 0,4 μm . A filtração é realizada de fora para dentro das fibras.

As principais variáveis de processo, tais como vazão de alimentação, vazão de permeado, temperatura de alimentação e pressões de alimentação, concentrado, permeado e retrolavagem, são monitoradas pelo menos 3 vezes por semana.

Neste trabalho foram estudados diferentes áreas de membrana por volume de módulo (300, 500 e 800 m^2/m^3) e vazões de aeração (1, 2 e 3 $\text{N m}^3/\text{h}$).

Para evitar a deposição de material na superfície da membrana e, consequentemente, a queda acentuada do fluxo de permeado, foram determinados o fluxo e pressão críticos do sistema.

Outros parâmetros como: cor, turbidez, carbono orgânico total (COT) e demanda química de oxigênio foram acompanhados ao longo da operação da unidade de MF semanalmente.

Foram utilizados 3 módulos com características de fabricação distintas: densidade de empacotamento (m^2/m^3), área de filtração (m^2) e número de fibras. A área de aeração das fibras foi mantida constante (Tab. 1).

Tabela 1: Características dos três módulos: empacotamento, área de filtração, número de fibras e área perfurada.

Módulo	Empacotamento (m^2/m^3)	Área de Filtração (m^2)	Nº de Fibras	Área de aeração (%)
146	320	1	692	0,63
147	500	1,56	1080	0,63
148	800	2,5	1730	0,63

A pressão da filtração na operação foi mantida constante em 0,1 bar e temperatura constante a 25°C. O sistema foi operado com 15 minutos de permeação e 15 segundos de retrolavagem, atingindo pressão de 1 bar na retrolavagem.

Entre os testes, foram efetuadas limpezas químicas foi realizada com hipoclorito de sódio a 300 mg/L durante 1 hora.

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a fotomicrografia da seção transversal e da superfície seletiva da fibra oca utilizada no presente estudo. Como pode ser visto, os poros da camada seletiva estão na faixa de 0,4 μm , caracterizando uma barreira física segura para contenção total da biomassa que por ventura passe pelo sedimentador.

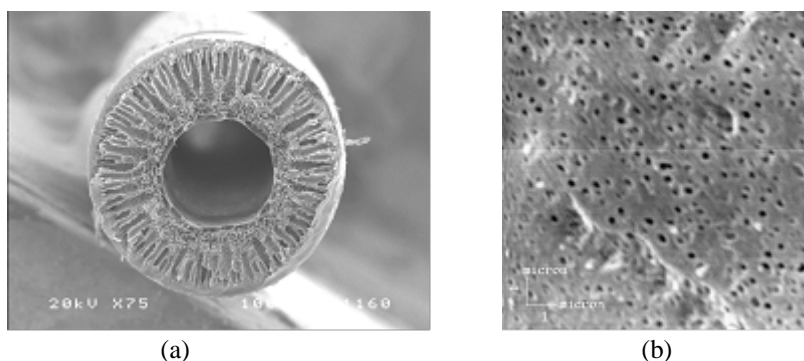


Figura 2: Fotomicrografias da fibra oca utilizada: (a) seção transversal e (b) superfície externa seletiva

Previamente ao início da operação, foram determinados o fluxo crítico e a pressão crítica de operação do efluente em questão, conforme apresentado na Figura 3. Esse procedimento é realizado a fim de se determinar a pressão máxima de operação sem que haja depósito intenso de partículas na superfície da membrana, reduzindo o fluxo de permeado.

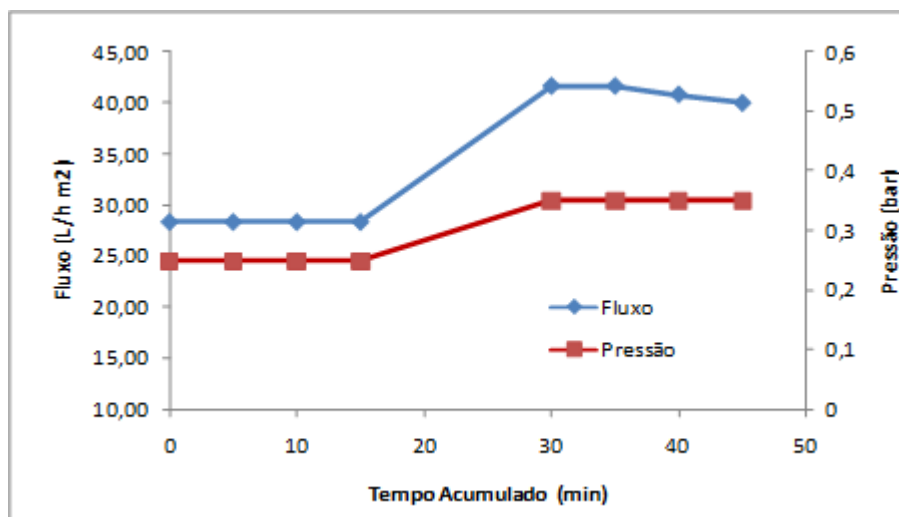


Figura 3: Determinação do fluxo crítico e da pressão crítica de operação do efluente base.

Através da Figura 3, observa-se a que partir da pressão de 0,3 bar há uma diminuição do fluxo de permeado com o tempo de teste. Portanto, é indicada a operação com pressão abaixo da pressão crítica. Como as características deste efluente flutuam bastante, inclusive com passagem de lodo através do decantador, optou-se por trabalhar com pressão de 0,1 bar a fim de se evitar incrustações severas na membrana.

A unidade de MF vem sendo operada por 1 ano e seis meses, com fluxo médio de $15 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^2$. A qualidade do permeado produzido é mostrado na Tabela 2 e na Figura 4.

Tabela 2: Análises Químicas do lodo ativado e permeado da MF.

Parâmetro	Efluente Microfiltrado	Efluente após ETE	Remoção (%)
Cor (Pt/Co)	10	62	83,9
DQO (mg/L)	4,4	60,9	92,7
TOC (mg/L)	9,29	20,4	54,5
Turbidez (NTU)	0,02	25,0	99,9

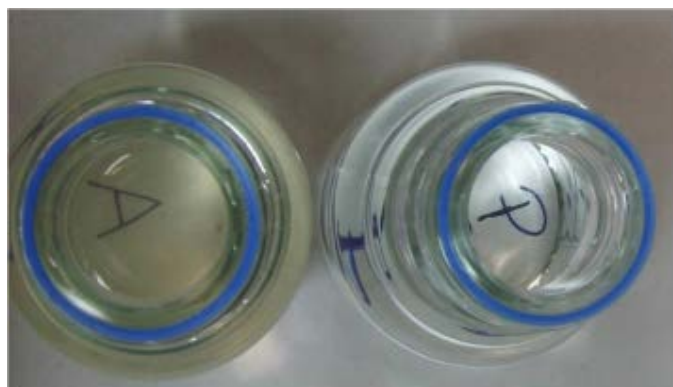


Figura 4: Comparação visual entre o efluente saído da ETE (A) e o efluente de microfiltrado (P).

A Figura 5 apresenta a variação do fluxo de permeado dos 3 módulos operando simultaneamente com o tempo de operação. Foi observada queda lenta e gradual do fluxo de permeado, provavelmente devido a passagem de sólidos grosseiros do decantador para o tanque de membranas. A limpeza química realizada com hipoclorito após 550 horas de operação não mostrou melhora no fluxo de permeado.

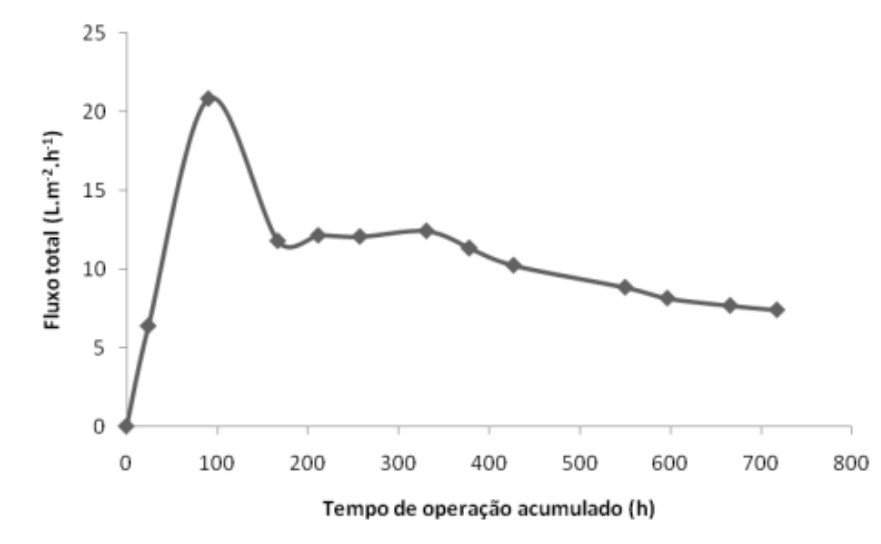


Figura 5: Variação do fluxo com o tempo dos módulos

A Tabela 3 apresenta os valores de fluxo permeado para os módulos 146, 147 e 148 separadamente. O módulo 146 apresentou valores de fluxos maiores após o teste de longa duração em função da baixa densidade de fibras, evitando acúmulo de sólidos o que reduz o efeito da incrustação. Este fato indica que para sistemas de polimento com considerável concentração de sólidos suspensos, quanto menor a densidade de empacotamento maior o fluxo de permeado mantendo a mesma vazão de ar (1 N m³/h).

Tabela 3: Fluxo médio e vazão de ar para cada módulo

Módulo	Fluxo Médio (L m ⁻² h ⁻¹)	Aeração (N m ³ h ⁻¹)
146	38	1
147	17	1
148	15	1

O módulo 146 foi posteriormente testado separadamente para avaliação do seu potencial, mantendo-se 1675 horas em operação. A Figura 6 apresenta o decaimento do fluxo com o tempo para o módulo 146 à pressão de 0,1 bar e temperatura de 25°C.

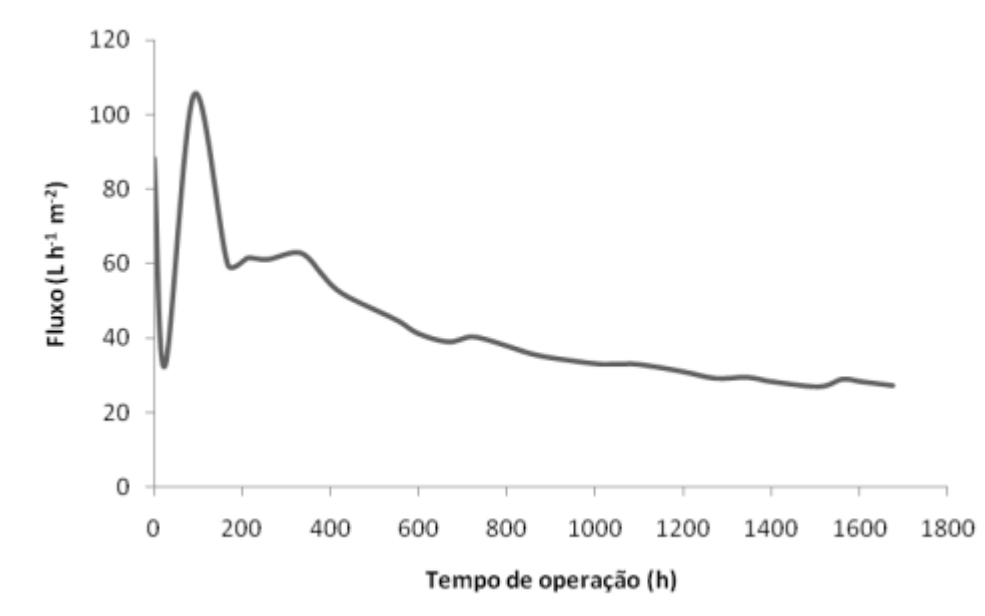


Figura 6: Curva de decaimento do fluxo para o módulo 146

Comparando os valores de fluxo utilizando aeração de 1, 2 e 3 N m³/h (Tabela 4), pode-se avaliar que o valor médios de fluxo em 3 N m³/h é 30% superior à aeração de 2 N m³/h e 44% superior à aeração de 1 N m³/h.

Tabela 4: Relação da vazão de ar com o fluxo médio de permeado

Vazão de Ar (N m ³ h ⁻¹)	Fluxo médio (L m ⁻² h ⁻¹)
1	4,5
2	4,9
3	6,5

Foram investigados também procedimentos de limpeza a fim de se recuperar a permeabilidade das membranas. Estas limpezas são indicadas quando o fluxo cai intensamente. As limpezas de rotina são realizadas com hipoclorito de sódio.

A Figura 7 apresenta os resultados de permeabilidade hidráulica antes e após cada etapa de limpeza.

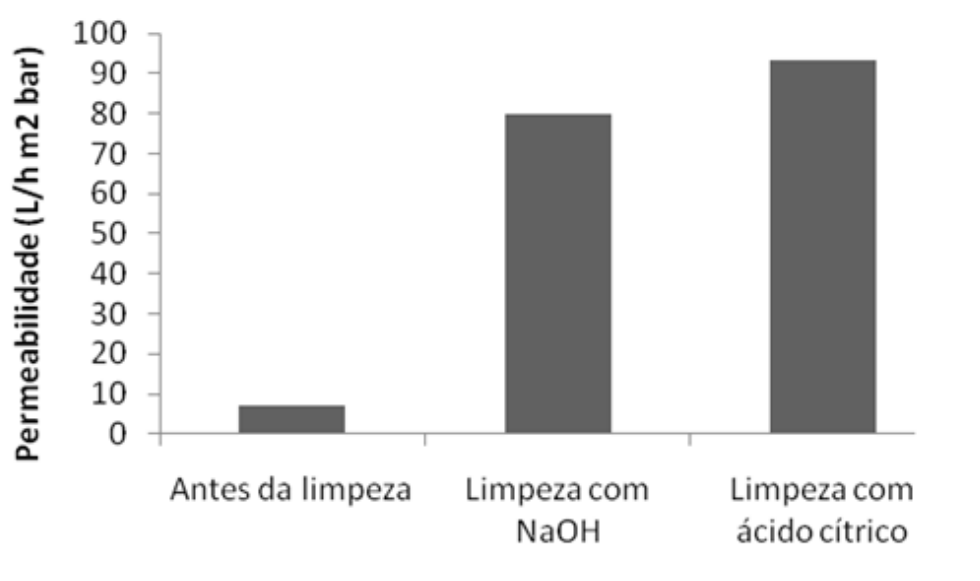


Figura 7: Eficiência de limpeza das membranas com diferentes agentes químicos.

A etapa alcalina foi bastante eficiente, elevando os valores de permeabilidade de 7 para 80 L h⁻¹ m² bar⁻¹, o que indica a presença de matérias orgânicas na superfície das membranas. Após a etapa ácida, observa-se um discreto aumento da permeabilidade para valores acima de 90 L h⁻¹ m² bar⁻¹, indicando a eficiência da limpeza química adotada na recuperação da permeabilidade das membranas para valores de membranas novas (120 L h⁻¹ m² bar⁻¹).

CONCLUSÕES

A MF como polimento final de efluentes tratados biologicamente possibilita o seu reuso para fins secundários, garantindo água de excelente qualidade para os usos mencionados.

Picos de lodos ocorridos no decantador podem afetar o desempenho da MF, aumentando a incrustação das membranas, diminuindo substancialmente a vazão de permeado.

O monitoramento da operação da unidade de MF é o fator chave para correta utilização do processo uma vez que coaduna corretamente a limpeza química com os tempos de permeação e retrolavagem.

A densidade de empacotamento influencia diretamente o fluxo, indicando que fluxos maiores são alcançados para densidades menores de empacotamento (módulo 146).

Mantendo mesma vazão de aeração, o módulo com menor densidade de empacotamento, ou seja menor quantidade de fibras, permite operação com maior fluxo, reduzindo a incrustação e aumentando a vida útil, já que necessita de menor frequência de limpeza química.

Os resultados da utilização das vazões de aeração investigadas no estudo, 1,2 e 3 N m³/h, concluem que à vazão de 3 N m³/h o fluxo de permeado é superior comparado com as vazões de 1 e 2 N m³/h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. HABERT, C.; BORGES, C.; R., NOBREGA, Processos de Separação por Membranas, Série Escola Piloto em Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Editora E-papers, 2006.
2. AMARAL, M. C. S. Tratamento de efluente do branqueamento de pasta celulósica empregando Bioreator a Membrana, Tese de Doutorado, UFMG, Brasil, 2009.
3. BAKER, R. W., Membrane Technology and Applications - Ed. John Wiley & Sons, 2000.
4. BEEKMAN, G.B., 1998. Water conservation, recycling and reuse. Water Resour. Dev. 14 (3), 353–364.
5. PAGELLA, C., GALLI, R., DE FAVERI, D.M., 2000. Water reuse in industrial food processing. J. Food Technol. Africa 5 (1), 25–29.