

II-528 - MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO PARA O TRATAMENTO DAS ÁGUAS CINZAS

Taísa Machado de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Química, mestre e doutoranda pela Universidade Estadual de Maringá.

Cláudia Telles Benatti⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre e doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

Roberto Bentes de Carvalho⁽³⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Pará, Mestre e doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Célia Regina Granhen Tavares⁽⁴⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e INSA-Toulouse. Pós-doutora em Engenharia Ambiental pela Université Montpellier II. Professora Titular do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.

Alessandra Zacarias dos Santos⁽⁵⁾

Engenheira Química, mestre, doutora e pós-doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

Endereço⁽¹⁾: Av. Gastão Vidigal, 2431 casa 5 – Cidade Alta – Maringá – PR – CEP: 87053-310 – Brasil – Tel (44)99612212 – email: taisamachadooliveira@hotmail.com

RESUMO

Em razão da qualidade dos recursos hídricos estar-se esgotando, o reúso urbano da água passou a ser uma fonte necessária e crucial para a sustentabilidade hídrica. Nessa perspectiva, despontam as “edificações verdes”, cujas práticas descentralizadas de água podem aliviar a sua escassez. Como um valioso recurso para esse fim, a água cinza, efluente urbano constituído por águas de lavagens, sem a contribuição de vasos sanitários, pode ser reutilizada para gerar a economia hídrica nos domicílios individuais. Se tratada, a água cinza pode ser utilizada para fins menos nobre na edificação, tais como descarga de vasos sanitários, irrigação para o jardim, lavagem de carro ou de calçada. Movido por esse enfoque, este artigo visa a microfiltrar as águas cinzas com membranas submersa de fibra oca e a avaliar a influencia das variáveis pressão e a aeração no *fouling* da membrana. Ainda, propõe-se a averiguar a eficiência do processo de separação por membrana na remoção dos parâmetros físicos, como cor, turbidez e sólidos suspensos. Com isso, as melhores condições hidrodinâmicas foram a pressão de 0,10 bar e a aeração de 50L/h. Para essas condições, obteve-se a rejeição de 96% para a cor, de mais de 99,9% para a turbidez e de 92% para sólidos suspensos totais. Diante disso, o tratamento das águas cinzas pelo processo de separação por membrana (PSM) a microfiltração foi eficaz na obtenção da água de reúso urbano, com qualidade excelente para fins não potável. Devido à qualidade estável do permeado, à alta taxa de aplicação, à estrutura compacta e ao baixo consumo de energia, o PSM é um processo confiável e compacto, que assevera uma atrativa solução técnica para a reciclagem de água cinza, principalmente em edificações residenciais. Consoante a essa prática, atender-se-iam as diretrizes de sustentabilidade em tempos hodiernos.

PALAVRAS-CHAVE: Água cinza, reúso de água, membrana, microfiltração.

INTRODUÇÃO

Devido ao aumento da população mundial e à escassez de recursos hídricos, a Terra, na concepção da Organização das Nações Unidas (ONU), vivencia uma “crise da água”. As hodiernas ações ambientais refletem essa preocupação e o compromisso com a qualidade de vida, que implicam a preservação e a conservação dos recursos naturais para um desenvolvimento sustentável. Essa meta, sem dúvida, está diretamente vinculada à proteção do ambiente físico e biológico. Administrar o ambiente requer, assim, gerenciamento da água, do solo, das atividades humanas, uma vez que, na natureza, tudo está integrado e interligado. Aliás, não se pode mais admitir um crescimento sem preservação, sem análises dos impactos ambientais.

Começam a surgir, assim, novas maneiras de economizar água. Uma delas é reutilizar aquelas oriundas de uso doméstico. Denominadas como águas cinzas são as residuais de chuveiros, banheiros, lavanderias, máquinas de lavar roupa, pias de cozinha, exceto as providas do vaso sanitário.

Ressalta-se que há muitas tecnologias para reciclagem de água cinza, a qual contém um pequeno teor de poluentes, mas, se tratada, pode ser reutilizada para fins de lavagem, irrigação e manutenção do vaso sanitário, ou seja, tarefas que não necessitam de água potável.

Segundo Oschmann *et al.* (2005), isso geralmente representa uma redução no consumo de água por pessoa de 50%, o que traria um alívio ambiental tanto para a águas como para as empresas que tratam as águas residuárias.

Para atingir esse objetivo, o processo de separação por membranas (PSM) de microfiltração, por ser pobre em oligoelementos e não ter a quantidade suficiente de nutrientes para o tratamento biológico, é o mais indicado, uma vez que muitos poluentes podem ser removidos eficazmente (JEFFERSON *et al.*, 2004).

Uma importante limitação no desempenho dos processos com membranas é que o fluxo de permeado é negativamente afetado pelo acúmulo transiente de uma camada de espécies rejeitadas na interface da membrana, como a camada de gel, a polarização de concentração e a colmatagem (“*fouling*”) (JUDD, 2006). Isso é intrínseco ao processo de microfiltração e limita o fluxo permeado.

A formação da camada de gel ocasiona prejuízo no funcionamento hidrodinâmico do sistema, porquanto constitui mais uma barreira para o fluxo de permeação. Essa camada de gel ocorre quando há precipitação de macromoléculas na superfície da membrana (CHERYAN, 1998).

A colmatagem resulta da penetração de solutos presentes em soluções de macromoléculas ou de suspensões coloidais nos poros da membrana, acarretando também diminuição no fluxo do solvente e alterando as características de retenção (CHERYAN, 1998).

Durante o processo ocorre, também, acúmulo de solutos próximo à superfície da membrana por transporte convectivo, sendo parte do solvente removida do fluido, o que ocasiona maior concentração de solutos na superfície da membrana em relação à da solução. Esse aumento na concentração de solutos na superfície da membrana, conhecido como polarização da concentração, é responsável pela diferença observada entre o fluxo de permeado final e inicial comparado com o fluxo de água pura (CHERYAN, 1998).

Entretanto, existem algumas técnicas de operação que resultam em recuperação, ao menos parcial, do fluxo permeado, como alteração das condições hidrodinâmicas (aeração e pressão).

Nessa perspectiva, este trabalho visa ao estudo da queda do fluxo do permeado com variações nas condições hidrodinâmicas, como aeração e pressão, em uma membrana de microfiltração de fibra oca. Busca, ainda, averiguar a qualidade do permeado em termos dos parâmetros físicos, como cor, turbidez e sólidos suspensos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP.

MATERIAIS E MÉTODOS

A edificação, em estudo, é unifamiliar de médio porte localizada na região noroeste do Paraná, na cidade de Maringá. Naquela foi possível fazer a separação do sistema hidráulico para efetuar a coleta do efluente (água cinza), na caixa de inspeção sem ter a influência do vaso sanitário.

Posteriormente, o efluente bruto era encaminhado ao laboratório, para ser tratado pelo processo de separação por membranas (PSM) em escala bancada. Para tanto, utilizou-se a microfiltração com membranas poliamida de fibra oca submersa, com área de filtração de 0,146m², empacotamento de 800m²/m³ e diâmetro de poros 0,4 µm, fabricada pela empresa PAM-Membranas LTDA.

Oteve-se a pressão crítica de 0,20 bar. Logo, para haver um bom funcionamento da membrana, é necessário que a pressão de operação esteja abaixo da pressão crítica. Para avaliar a dependência do fluxo do permeado com essa variável ao longo de 200 minutos, este estudo fixou três pressões diferentes (0,08 bar, 0,10 bar e 0,15 bar).

O transporte através da membrana foi fluxo cruzado, no qual a permeação ocorre perpendicularmente à direção do escoamento do fluido no reator com módulo de membrana submersa.

Posteriormente, trabalhou-se com promotores de turbulência (aeração). Esses visam a aumentar a taxa de cisalhamento próximo à superfície de membrana, reduzindo a espessura da camada polarizada e prejudicando a formação de incrustação. Para minimizar o efeito das incrustações na membrana, estabeleceram-se três aerações diferentes: zero, 30L/h e 50L/h para cada pressão pré-estabelecida. Esses valores foram definidos, porque, segundo Le Clech, *et al.* (2006), para módulos de membranas de fibra oca, a razão entre a vazão de ar e a vazão de permeado deve ser em torno de 50.

Para recuperar a permeabilidade hidráulica da membrana, após cada teste efetuado, foi realizada limpeza física/retrolavagem. Se a permeabilidade hidráulica ficasse muito abaixo da inicial era realizada uma limpeza química com uma solução de hipoclorito de sódio 0,1% para a recuperação da permeabilidade hidráulica.

Avaliaram-se, ainda, os parâmetros físico-químicos: cor, turbidez, sólidos suspensos totais (SST) do efluente bruto e tratado para a determinação da eficiência da remoção desses parâmetros. As análises foram realizadas em conformidade com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995), por meio dos equipamentos Espectrofotômetro Hach DR 2010.

Com os resultados desses testes, foi possível determinar as melhores condições hidrodinâmicas para o tratamento das águas cinzas.

RESULTADOS

A Figura 1 revela o fluxo do permeado (efluente bruto e solvente puro) durante 200 minutos. Nota-se que o fluxo permeado, no início do processo de filtração decresce em relação ao tempo à medida que a espessura da camada polarizada e o *fouling* aumentam, até atingir um valor aproximadamente constante. Quando esse fluxo do permeado não variar significativamente em relação ao tempo, atinge-se o estado estacionário do processo de filtração.

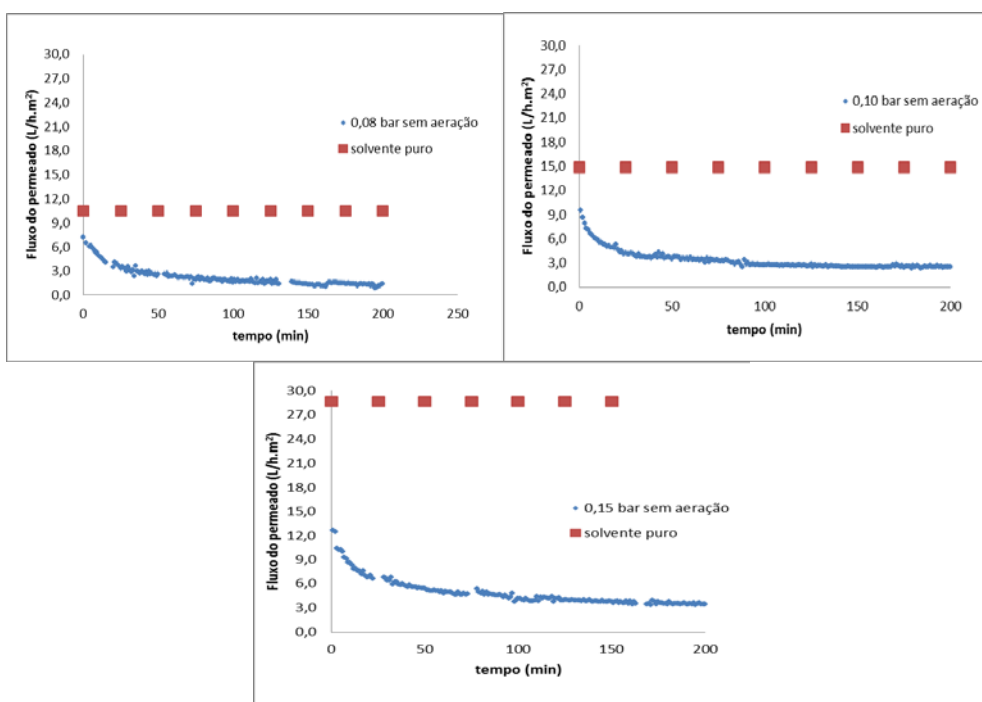


Figura 1 Fluxo permeado versus tempo para as pressões de 0,08 bar, 0,10 e 0,15 bar e sem aeração

Quando as membranas de microfiltração utilizam o gradiente de pressão como força motriz, o fluxo do permeado é diretamente proporcional ao próprio gradiente de pressão, como se observa na Figura 1.

Já, quando se trata de um solvente puro e sem interação com o material da membrana, o fluxo permeado, para uma dada pressão de operação, deve ser constante com tempo. Essa independência do fluxo permeado com o tempo é uma clara indicação da estabilidade mecânica da membrana, da pureza do solvente e da sua baixa interação com o material da membrana, como mostra a Figura 1.

A Tabela 1 apresenta a queda do fluxo do permeado (efluente) em relação ao solvente puro (água). Trabalhou-se, posteriormente, com promotores de turbulência (aeração). Esses visam a aumentar a taxa de cisalhamento próximo à superfície de membrana, reduzindo a espessura da camada polarizada e desfavorecendo a formação de incrustação. Para isso, com aeração 30L/h e 50L/h para cada pressão pré-fixada.

Tabela 1 - Queda do fluxo do permeado (efluente) em relação ao solvente puro (água)

Pressão (bar)	0,08			0,10			0,15		
Aeração (L/h)	0	30	50	0	30	50	0	30	50
Queda do fluxo do permeado (L/h.m ²)	12,4	9,8	9,4	9,3	9,7	7,8	25,1	23,6	20,8

A aeração é responsável pelo cisalhamento na superfície da membrana, no qual há aumento no fenômeno de transporte de partículas para o seio do reator. O desprendimento das partículas se dá pela vibração das fibras provocada pelas bolhas de ar. Constatou-se isso nos experimentos realizados que as membranas aeradas apresentaram uma menor queda do fluxo do permeado e minimização do efeito das incrustações nas membranas, conforme revela a Tabela 1.

Na Tabela 1, nota-se que, com a pressão de 0,1 bar e a aeração de 50L/h, houve menor queda de fluxo do permeado em comparação ao solvente puro e ao efluente bruto. Isso significa que as incrustações são menos acentuadas, sendo a melhor condição hidrodinâmica para o tratamento das águas cinzas.

Tabela 2 – Qualidade do efluente bruto e tratado

	Pressão (bar)	0,08			0,10			0,15			média
	Aeração (L/h)	0	30	50	0	30	50	0	30	50	
Cor (units)	Bruto	249	130	925	304	86	413	514	398	356	375±247
	Tratado	10	25	20	32	5	17	87	14	16	25±25
	Coeficiente de retenção	96%	81%	98%	89%	94%	96%	83%	96%	96%	(92±6)%
turbidez (FAU)	Bruto	109	85	207	90	194	83	136	186	96	132±51
	Tratado	3	8	5	12	ND	ND	18	2	2	6±6
	Coeficiente de retenção	97%	91%	98%	87%	>99,9%	>99,9%	87%	99%	98%	(95±5)%
SST (mg/L)	Bruto	60	40	68	50	48	33	54	54	62	52±11
	Tratado	10	8	8	10	8	3	6	6	2	10±6
	Coeficiente de retenção	83%	80%	88%	80%	83%	92%	89%	89%	97%	(87±6)%

A Tabela 2 apresenta a qualidade do efluente bruto e tratado, e a eficiência do processo de separação de membranas a microfiltração. A cor varia de 86 a 925 UNITS, a turbidez de 83 a 207 FAU e a concentração de sólidos suspensos totais de 33 a 68mg/L. Isso se deve às condições climáticas, ao estilo de vida e aos costumes dos moradores da residência estudada.

A melhor condição hidrodinâmica, pressão de 0,10bar e aeração 50L/h, apresentou os melhores coeficientes quanto à retenção de partículas pela membrana, e quanto à remoção de 96% para a cor, mais de 99,9% para a turbidez e 92% para os sólidos suspensos totais.

A média remoção da cor e da turbidez nos testes realizados foi maior do que 90% e dos sólidos suspensos em torno de 87%. A qualidade visual do efluente bruto e tratado é apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Amostra de efluente bruto e tratado

A NBR 13.969/97 – ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) aborda aspectos relativos ao reúso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Essa norma preconiza que o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exijam não somente qualidade de água não potável, mas também sanitariamente segura, em processos como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, descarga dos vasos sanitários, manutenção paisagística dos lagos e canais com água, irrigação dos campos agrícolas e pastagens.

Essa reutilização deve ser planejada de modo a permitir o uso seguro e racional, para minimizar o custo de implantação e de operação. Com isso, pode-se afirmar que, para o reúso de descarga sanitária, classe III, a

norma estabelece que a turbidez deve ser menor ou igual a 10UNT, o que foi constatado em 78% dos testes realizados.

CONCLUSÕES

Diante da iminente perspectiva da escassez de água, torna-se imprescindível a reciclagem do efluente urbano. Encontrar uma alternativa que garanta não só a prosperidade e a qualidade de vida da humanidade, como também a preservação dos recursos naturais do planeta é ser coerente à proposta de uma efetiva sustentabilidade.

Nessa diretriz, é salutar propiciar incentivos que despertem construções sustentáveis, que visem à reutilização das águas cinzas. Estas devem ser coletadas, tratadas e reutilizadas para fins não potáveis. Os frutos advindos dessa sustentável atividade podem ser sintetizados em benefícios sociais, como a economia da água e do esgoto tratado, e redução do impacto ambiental.

Com esse intuito, o processo de separação por membranas de microfiltração mostrou-se eficiente para o tratamento das águas cinzas. Para a pressão 0,1bar e para a aeração de 50L/h, obtiveram-se efetivos resultados na diminuição da incrustação da membrana, por menor queda do fluxo do permeado do efluente em relação ao solvente puro, e na melhor remoção nos parâmetros físicos analisados.

O sistema de reúso de águas cinzas estudado demonstrou eficiência na remoção dos parâmetros físicos, como cor, turbidez e sólidos suspensos e atende, assim, a norma da NBR 13.969/97.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. _____. NBR 13.969: *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos* – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
2. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standart Methods for the Examination for Water and Wastewater* 14^a ed., Washington D.C., 1995.
3. B. JEFFERSON, A. PALMER, P. JEFFREY, R. STUETZ AND S. JUDD, *Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse*. Wat. Sci. Technol., p 157 a 164. 2004.
4. CHERYAN, M. *Ultrafiltration and microfiltration handbook*. Lancaster: Technomic Publ., 1998. 526 p.
5. OSCHMANN, N.; NGHIEM, L.D.; SCHÄFER, A.I. *Fouling mechanisms of submerged ultrafiltration membranes in greywater recycling*. Berlin, Germany. Desalination. p 215 a 223. 2005
6. JUDD, S. *The MBR Book Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, Elsevier, 2006.
7. Le-Clech, P., Chen V., Fane, T. A. G. *Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment*. Journal of Membrane Science, Elsevier, p. 2006
8. PAULSON, D.J.; WILSON,R.L.; SPATZ,D.D. *Crossflow membrane technology and its applications*. Food Technology, Chicago, v.12, p.77-87, 1984.