

ESTUDO DOS EFEITOS DA FILTRAÇÃO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO NA REDUÇÃO DO FLUXO PERMEADO E NA COLMATAÇÃO DE MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO

Douglas Felipe Galvão (Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira) fgdoug@gmail.com

Eliane Rodrigues dos Santos Gomes (Docente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira.) elianegomes@utfpr.edu.br

Resumo:

As indústrias de laticínios utilizam volume substancial de água para a realização dos processos produtivos, especialmente para a manutenção de condições de higiene e limpeza. Com isso, ocorre a geração de volume considerável de efluentes que demandam tratamento para atendimento dos padrões de lançamento, antes de serem descartados. Os processos de separação por membranas têm destaque na geração de efluentes tratados de boa qualidade. Desse modo, a presente pesquisa teve como objetivo verificar a permeabilidade de membranas com a água destilada e com efluente de laticínio e estudar os efeitos do efluente na redução do fluxo permeado e na colmatação das membranas. Para isso, foi realizada a circulação tanto de água destilada quanto de amostra de efluente de uma indústria de laticínios da região Oeste do Estado do Paraná, em membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF). Os processos de MF e UF foram realizados variando-se as condições de pressão aplicadas, realizando-se a avaliação do comportamento das membranas durante os experimentos.

Palavras chave: Leite. Separação. Retenção. Fluxo.

STUDY OF EFFECTS OF WASTEWATER DAIRY FILTRATION IN REDUCING OF PERMEATE FLUX AND COLMATATION OF MICROFILTRATION AND ULTRAFILTRATION MEMBRANES

Abstract

The dairy industry uses substantial amount of water to achieve the production process, especially for the maintenance of hygiene and cleanliness conditions. With this, is generating considerable volume of wastewater requiring treatment to meet the discharge standards before being discarded. Membrane separation processes have highlighted the generation of good quality treated effluent. Thus, the present study aimed to determine the permeability of the membrane with distilled water and the effluent from dairy and study the effects of effluent to reduce the permeate flow and clogging of the membrane. For this, it performed the circulation

both of distilled water as sample of effluent from a dairy industry of the State of Paraná Western region in microfiltration membranes (MF) and ultrafiltration (UF). The MF and UF processes were performed varying the applied pressure conditions, performing the evaluation of the behavior of the membranes during the experiments.

Key-words: Milk. Separation. Retention. Flow.

1. Introdução

Os efluentes de laticínios são caracterizados pelas altas taxas de matéria orgânica, sabões e constituintes do leite oriundos dos processos produtivos. Há elevado consumo de água em indústrias de laticínios, especialmente para manter as condições sanitárias e de higiene neste tipo de indústria e, conseqüentemente, há elevada geração de efluentes, (MAGANHA, 2008).

Os processos de separação por membranas têm ganhado relevância no tratamento de efluentes de laticínios e geração de efluente tratado de elevada qualidade, o que possibilita o seu reúso em processos industriais.

A utilização dos processos de separação por membranas no tratamento de efluentes pode ser limitada pela redução do fluxo de permeado das membranas no decorrer do tempo de filtração. Esse fenômeno, denominado de colmatção ou *fouling*, é causado, especialmente, pelo acúmulo de partículas na superfície e dentro dos poros das membranas (SONG, 1998; HABERT et al., 2006).

Habert, Borges e Nobrega (2006) indicam como principais causadores do decaimento do fluxo, a deformação mecânica da membrana (quando ocorre o seu inchamento), a interação do solvente com o material da membrana, ou então pela presença de impurezas no solvente que causa o entupimento dos poros.

Schneider e Tsutuya (2001) citam que, o fluxo do líquido através da membrana é dependente de alguns fatores, como diâmetro dos poros; porosidade da membrana (fração da área de membrana ocupada por poros); espessura da membrana; camada de concentração e polarização; tortas de filtro (material retido); *fouling* químico (sais precipitados ou géis); e biofilmes.

Um dos piores problemas citados pelos autores durante a operação dos sistemas de membranas é o decaimento do fluxo com o tempo. Esse fenômeno é denominado de *fouling* ou colmatção da membrana (LAUTENSCHLAGER; FILHO; PEREIRA; 2009; HASAN, et al., 2013; GIACOBBO et al., 2010; SONG, 1998; VIDAL; CAMPOS; 2009).

O *fouling* acaba aumentando a complexidade de operação dos sistemas de separação por membranas, pois, o sistema precisa ser parado frequentemente para restabelecimento do fluxo através da retrolavagem, resultando em aumento dos custos econômicos e tornando menos viáveis a utilização de sistemas de UF e MF para muitos processos (SONG, 1998).

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo estudar a permeabilidade de membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) com água destilada e com efluente de laticínios, e estudar os efeitos do efluente de uma indústria na colmatção das membranas e na redução do fluxo permeado no decorrer do tempo.

2. Materiais e métodos

2.1 Descrição do local de coleta de amostras

O efluente utilizado na presente pesquisa foi obtido em uma Unidade de Laticínios situada na região oeste do Estado do Paraná, que produz iogurtes de diversas linhas de produção, bebidas lácteas e creme de leite. O efluente foi coletado na Estação de Tratamento de Efluentes, após o tratamento secundário (AATS).

Foram coletados, em cada um dos lotes de amostras, 30 litros de efluente para a realização dos ensaios. Para a coleta da amostra foram seguidas as normas brasileiras NBR 9897 (planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores) e NBR 9898 (preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores) (ABNT, 1987a; ABNT, 1987b).

2.2 Unidade experimental de separação por membranas

Os processos de separação por membranas foram realizados através de um módulo de bancada existente no Laboratório de Águas e Efluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR Câmpus Medianeira), conforme foto ilustrativa na Figura 1.



Figura 1 – Módulo de Tratamento por membranas de bancada.

Os módulos utilizados no estudo foram de Microfiltração e Ultrafiltração (MF 158 e UF 257), adquiridos da Pam-Membranas Seletivas. As duas membranas são de geometria fibra-oca, sendo a de microfiltração com porosidade de 0,4 μm e material de produção polieterimida e a de Ultrafiltração de polietersulfona, com retenção molar de 50 kDa (PAM-MEMBRANAS, 2012).

2.3 Experimentos de filtração por membranas

No módulo de bancada foram monitoradas as seguintes variáveis: vazão do permeado (L h⁻¹); vazão do concentrado (L min⁻¹); rotação da bomba (RPM); pressão de permeado, de recirculação e de alimentação (bar); e o volume de alimentação (L).

Para cada ensaio foram utilizados 5 litros de efluente oriundos do sistema de tratamento da indústria. Em todos os ensaios ocorre o retorno do concentrado para o tanque de armazenamento, caracterizando-se em um processo em batelada. A Tabela 1 apresenta as condições experimentais estabelecidas.

Tratamento	Membrana	Pressão (Bar)	Ponto de coleta
E1	Pressurização/Despressurização MF 158	0,50 -1,50	Água Destilada
E2	Pressurização/Despressurização MF 158	0,50 -1,75	AATS
E3	Pressurização/Despressurização UF 257	0,50 -1,75	Água Destilada
E4	Pressurização/Despressurização UF 257	0,50 -1,75	AATS
E5	Cálculo Coeficiente de Colmatação MF 158	0,50, 0,75 e 1,00	AATS
E6	Cálculo Coeficiente de Colmatação UF 257	0,50, 1,00 e 1,50	AATS

(MF 158 = Membrana Microfiltração série 158; UF 257 = Ultrafiltração série 257; AATS = Amostra Após Tratamento Secundário).

Tabela 1 – Condições experimentais estabelecidas para os processos de separação por membranas.

Os 4 experimentos (E1 a E4) foram realizados com o objetivo de verificar a permeabilidade das membranas para a água destilada e para o efluente de laticínio e verificar os efeitos de histerese, compactação e entupimento dos poros para as membranas de MF e UF.

Nos experimentos E5 e E6, buscou-se analisar o comportamento do fluxo permeado das membranas de MF e UF e o efeito da colmatação nas duas membranas, que corresponde a concentração de partículas na superfície das membranas e consequente redução no fluxo permeado, no decorrer do tempo.

Para verificar a permeabilidade das membranas de MF e UF, foi realizada, primeiramente, a análise da permeabilidade destas com água destilada e com efluente de laticínios, através da pressurização e despressurização do módulo. O diferencial de pressão transmembrana aplicado foi de 0,5 bar a 1,5 bar (pressurização) para a membrana de microfiltração (MF 158) com água destilada e de 0,5 a 1,75 bar com efluente de laticínio; para a membrana de UF foi de 0,5 a 1,75 bar tanto para água destilada quanto para o efluente de laticínio.

A elevação da pressão para as duas membranas ocorreu em intervalos de 0,25 bar, retornando a pressão para 0,5 bar (despressurização) em intervalos de 0,25 bar, em seguida. O fluxo da água destilada foi medido de 5 em 5 minutos durante 60 minutos, para cada pressão.

O cálculo do coeficiente de colmatação (CC) foi realizado conforme a equação 3. Para o cálculo, inicialmente, ocorreu durante 60 minutos (estabilização do fluxo permeado), a passagem de água destilada pelo módulo. Em seguida, ocorreu a filtração de efluente de laticínio durante 60 minutos, até a estabilização do fluxo permeado. Por fim, ocorreu uma nova circulação, por 60 minutos, de água destilada. O fluxo foi medido de 5 em 5 minutos, e realizou-se as corridas para 3 pressões diferentes para a MF (0,5, 0,75 e 1,0 bar) e para a UF (0,5, 1,0 e 1,5 bar), calculando-se o coeficiente de colmatação para cada pressão conforme Rao (2002).

As membranas foram avaliadas quanto aos parâmetros de processo:

- Efeito da pressão – Pressão Transmembrana (ΔP);

b) Fluxo em função do tempo. O fluxo permeado (J) foi determinado pela equação:

$$J = V_p / A \times t \quad (1)$$

Na equação 1, V_p é o volume permeado, A é a área de filtração da membrana e t é o tempo.

c) Coeficiente de Colmatação que refere-se a mensuração da incrustação na superfície da membrana após a realização dos ensaios. O valor do coeficiente varia de 0 (sem colmatação) até 1,0 (membrana completamente colmatada). O cálculo do Coeficiente foi realizado de acordo com Rao (2002):

$$CC = \text{Fluxo de água destilada após filtração com efluente} / \text{Fluxo de água com a membrana limpa} \quad (2)$$

2.4 Limpeza das membranas

Após os ensaios realizados com efluente de laticínio (Experimentos 2 e 4 da Tabela 1), realizou-se a limpeza das membranas conforme recomendação do fabricante. A limpeza é realizada até que a membrana apresente o fluxo permeado de água destilada encontrado nos ensaios de pressurização e despressurização das membranas de MF e UF, tolerando-se valores de fluxo inferiores ou superiores a 20%, conforme orientações do fabricante das membranas.

Utilizou-se os seguintes métodos para limpeza das membranas de MF e de UF: limpeza física (retrolavagem) que consiste na passagem de água no sentido oposto ao da filtração, com o objetivo de desobstruir os poros da membrana; e limpeza química (limpeza oxidante) utilizando-se como oxidante o Hipoclorito de Sódio (500 mg/L). Circulou-se, no módulo, 1 litro da solução durante um período não superior a duas horas.

3. Resultados e discussão

3.1 Pressurização e despressurização das membranas com água destilada e com efluente de laticínio

Nas Figuras 2 e 3 tem-se a variação do fluxo das membranas de MF e de UF, respectivamente, utilizando água destilada.

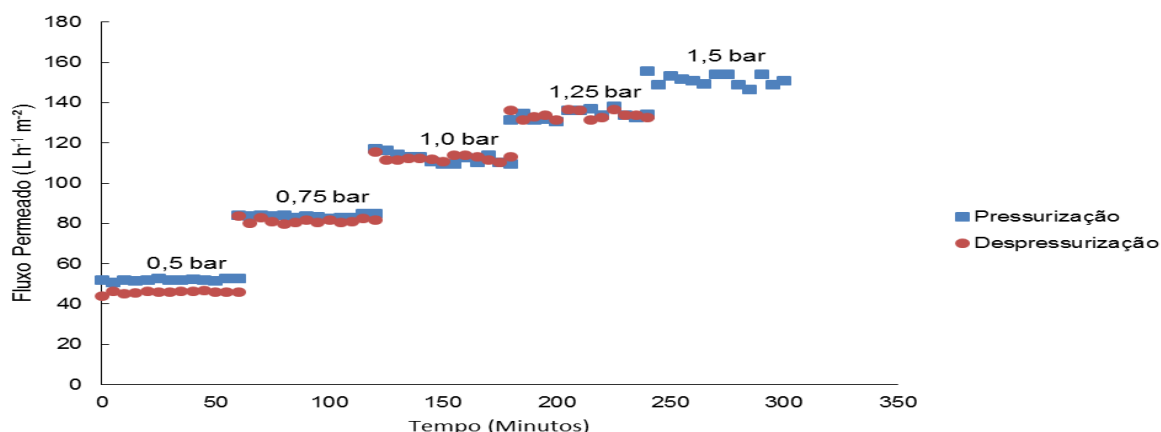


Figura 2 – Fluxo permeado no decorrer do tempo e à variação da pressão (pressurização e despressurização) da membrana MF 158, com água destilada.

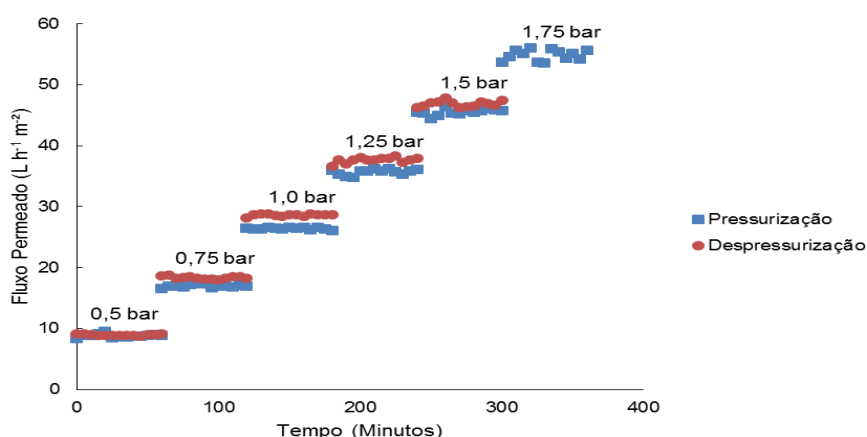


Figura 3 – Fluxo permeado no decorrer do tempo e à variação da pressão (pressurização e despressurização) da membrana UF 257, com água destilada.

Através da pressurização e da despressurização do módulo das membranas de MF e UF é possível verificar o fenômeno de compactação dos poros, ou histerese, que modifica o comportamento da membrana com relação a seletividade e fluxo (SARMENTO, 2007).

Nas Figuras 2 e 3, verifica-se pouca diminuição do fluxo das membranas na despressurização do módulo, ocorrendo pouca compactação e entupimento dos poros quando realizadas os ensaios com água destilada. Tal fenômeno fica mais evidente somente na membrana de MF a pressões mais baixas (0,5 e 0,75 bar), quando há queda no fluxo permeado na despressurização.

Para a membrana de ultrafiltração, quando da despressurização, observa-se que houve aumento do fluxo permeado nas diferentes pressões. A alteração na estrutura dos poros do polímero da membrana pode ter contribuído para esse aumento do fluxo.

Nas Figuras 4 e 5 estão ilustradas a variação da permeabilidade hidráulica das membranas de microfiltração e ultrafiltração, respectivamente, com relação a água destilada e a variação de pressão, pressurização e despressurização, aplicadas as membranas.

É possível observar a linearidade do comportamento do fluxo com relação ao aumento da pressão e o aumento do fluxo quando da despressurização, especialmente na membrana de

ultrafiltração. Para água destilada houve boa reversibilidade do fluxo às condições iniciais do processo.

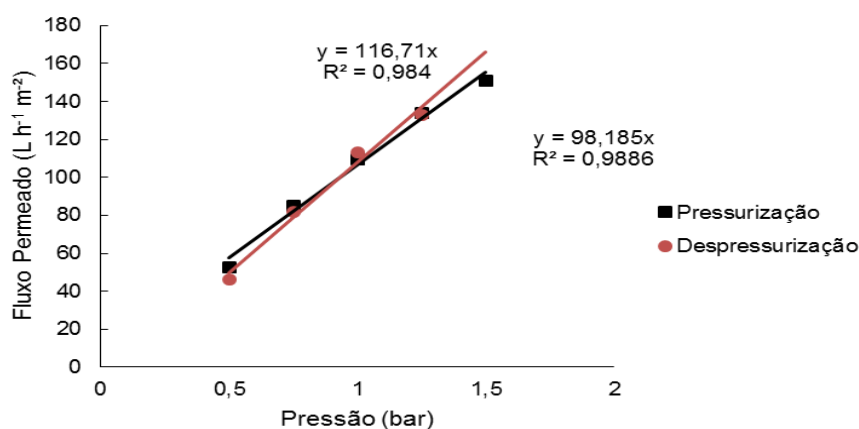


Figura 4 – Permeabilidade para água destilada da membrana de MF 158.

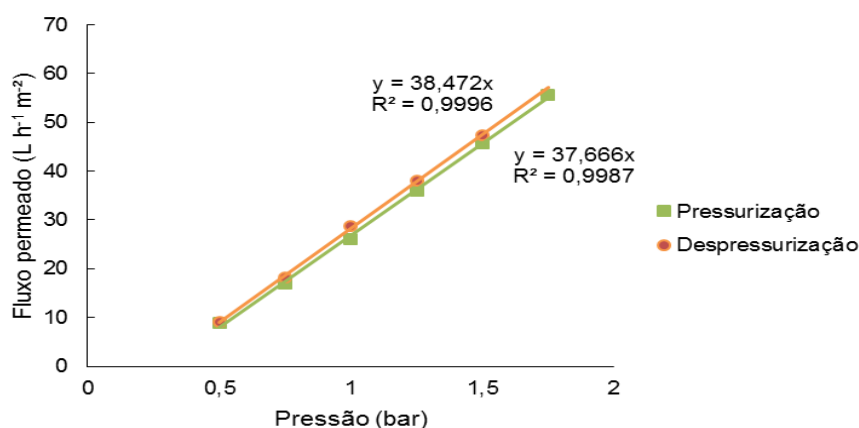


Figura 5 – Permeabilidade para água destilada da membrana de UF 257.

Os fluxos permeados encontrados nos ensaios de pressurização e despressurização (MF: 109,47 L h⁻¹ m⁻² bar⁻¹; UF: 26,07 L h⁻¹ m⁻² bar⁻¹), estão acima dos estabelecidos no manual de operação do módulo (PAM MEMBRANAS, 2012) e dispostos no Quadro 1 (MF: 99,7 L h⁻¹ m⁻² bar⁻¹; UF: 25,37 L h⁻¹ m⁻² bar⁻¹). Porém, as condições de realização foram diferentes. No manual, para a membrana de microfiltração, os ensaios foram realizados com água previamente microfiltrada. Para a membrana de ultrafiltração, os dados disponibilizados no manual informam que os ensaios foram realizados com água da concessionária de abastecimento público. Nos ensaios dispostos nas Figuras 4 e 5 foi utilizado água destilada.

Os dados de pressurização e despressurização foram utilizados para estabelecer a permeabilidade das membranas de MF e UF com água destilada, padronizando tais valores, para o restabelecimento do fluxo permeado após a limpeza das membranas.

Nas Figuras 6 e 7, estão dispostos os fluxos encontrados para a pressurização e despressurização dos módulos de microfiltração e ultrafiltração, quando realizados com efluente de laticínio coletado após a lagoa aerada (AATS).

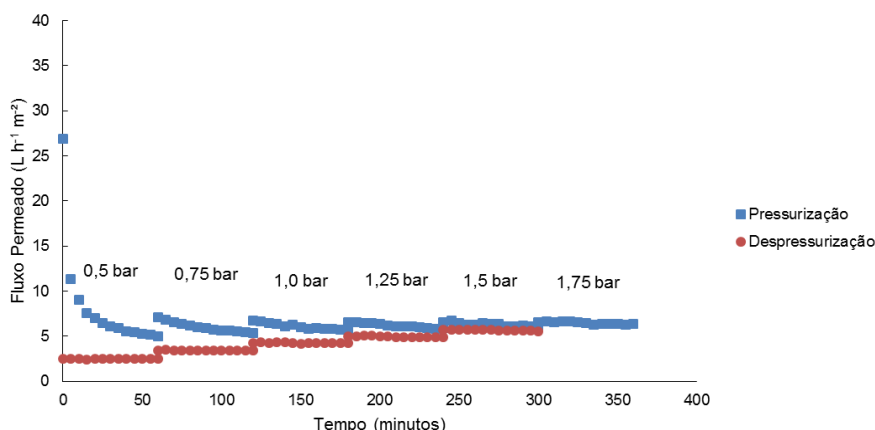


Figura 6 – Fluxo permeado no decorrer do tempo e à variação da pressão (pressurização e despressurização) da membrana de microfiltração (MF 158) com efluente de laticínio.

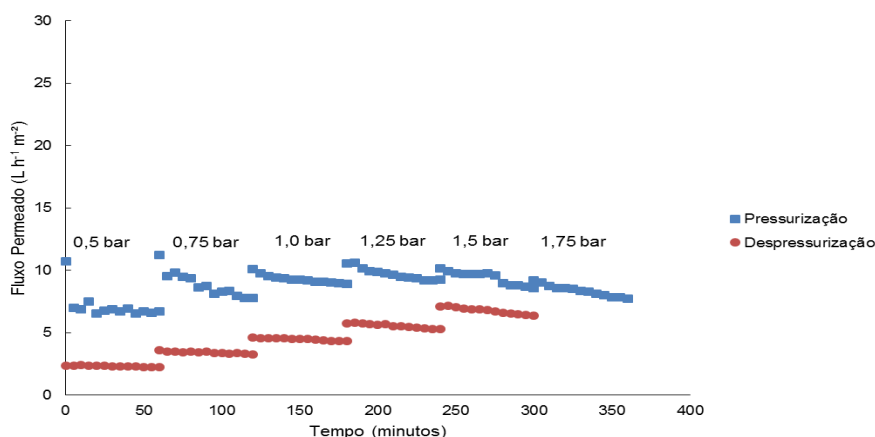


Figura 7 – Fluxo permeado no decorrer do tempo e à variação da pressão (pressurização e despressurização) da membrana de ultrafiltração (UF 257) com efluente de laticínio.

Para os ensaios com a utilização do efluente de laticínio, é mais evidente o fenômeno de histerese de ambas as membranas quando comparadas com o fluxo encontrado quando da passagem de água. Para todas as pressões das duas membranas, houve queda do fluxo na despressurização, evidenciando o entupimento dos poros e a influência da compactação destes na redução do fluxo permeado.

A queda do fluxo foi mais evidente para as pressões menores, em ambas as membranas. Essa redução indica que, o efluente oriundo do tratamento secundário da indústria, favorece a formação de incrustação na superfície da membrana, aumentando o entupimento do poro e, consequentemente, os fenômenos de colmatação e polarização de concentração.

Resultados semelhantes ao do presente estudo foram também encontrados por Fappi (2015), que estudou membranas de MF e UF, da Pam-Membranas Seletivas, semelhantes às utilizadas no presente trabalho, e encontrou diminuição do fluxo na pressurização e despressurização usando efluente de matadouro frigorífico e estabelecendo metodologia de pressurização e despressurização semelhante a aplicada no presente estudo.

As Figuras 8 e 9, expõem a linearidade referente ao fluxo permeado das membranas de micro e ultrafiltração para a água destilada e para o efluente, de acordo com as pressões aplicadas. Observa-se que a permeabilidade das membranas para o efluente de laticínio é menor.

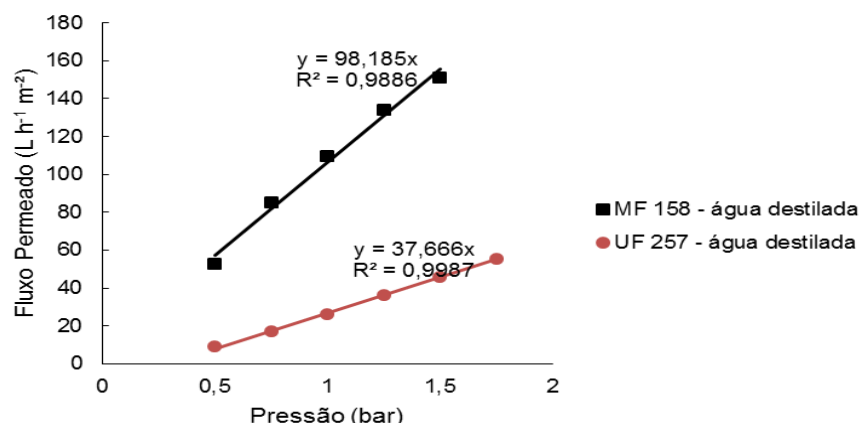


Figura 8 - Comportamento do fluxo permeado de água destilada em função do diferencial de pressão aplicado à membrana de microfiltração (MF 158) e de ultrafiltração (UF 257).

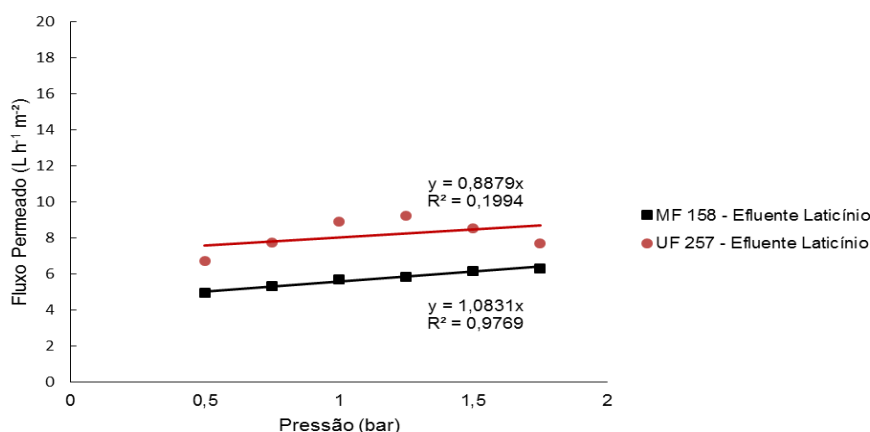


Figura 9 - Comportamento do fluxo permeado de amostra de efluente após o tratamento secundário (AATS) em função do diferencial de pressão aplicado às membranas de microfiltração (MF 158) e ultrafiltração (UF 257).

O aumento no fluxo permeado de água destilada das membranas de MF e UF fica visível com o aumento da pressão. Entretanto, a permeabilidade das membranas de MF e UF para o efluente de laticínio é menor que para água destilada, e a visualização do aumento do volume de permeado com o aumento da pressão fica pouco visível.

A linearidade do fluxo permeado com o aumento da pressão ocorre, para a membrana de MF, tanto com água destilada quanto para o efluente de laticínio (Figuras 8 e 9). Já para a membrana de UF, a linearidade ocorre apenas para a água destilada. Quando ocorreu a filtração de efluente de laticínio, a partir do aumento da pressão de 1,25 para 1,5 e em seguida para 1,75 bar, o fluxo permeado apresentou um pequeno decréscimo (Figura 9). A não linearidade do fluxo permeado com o aumento da pressão pode indicar o acúmulo de partículas na superfície da membrana.

É possível perceber que a colmatação afeta ambas as membranas quando há permeação de efluente oriundo de laticínio. A diferença nos fluxos permeados já era esperada, comparando-se com os resultados obtidos em outros estudos (AMARAL et al., 2013; FAPPI, 2015; ANDRADE et al., 2001).

Pode-se atribuir a não linearidade e a queda do fluxo no decorrer do tempo ao entupimento dos poros e formação de incrustação na superfície da membrana, o que amplia a resistência à

permeabilidade do fluxo, quando da existência de poluentes na solução que é permeada (HABERT et al., 2006).

3.2 Coeficiente de Colmatação para as membranas de microfiltração e ultrafiltração

De acordo com Rao (2002), o coeficiente de colmatação indica o acúmulo de partículas na superfície da membrana, que diminuem a passagem do líquido a ser permeado pelos poros. Na Tabela 2 estão dispostos os valores para os coeficientes de colmatação das membranas de MF e UF, para as diferentes pressões utilizadas, e nos tempos de 30 e 60 minutos.

	Membrana de Microfiltração			Membrana de Ultrafiltração		
Pressão (bar)	0,5	0,75	1,0	0,5	1,0	1,5
Tempo (minuto)	30	30	30	30	30	30
Coeficiente de Colmatação (CC)	0,76	0,75	0,89	0,10	0,21	0,41
Tempo (minuto)	60	60	60	60	60	60
Coeficiente de Colmatação (CC)	0,79	0,78	0,89	0,14	0,17	0,44

Tabela 2 – Coeficiente de Colmatação das membranas de MF e UF, nas diferentes pressões e nos tempos de 30 e 60 minutos.

A membrana de MF apresentou valores altos de CC, para todas as pressões e nos tempos de 30 e 60 minutos. Os CC foram bem superiores aos de UF em todas as pressões. À pressão de 0,75 bar apresentou os menores CC, 0,75 e 0,78, nos tempos de 30 e 60 minutos, respectivamente, valores semelhantes aos da pressão de 0,5 bar que foram de 0,76 e 0,79, nos tempos de 30 e 60 minutos, respectivamente. Os maiores valores do CC foram à pressão de 1,0 bar, 0,89 nos tempos de 30 e 60 minutos, chegando-se próximo ao entupimento da membrana.

A membrana de UF apresentou CC menores, principalmente comparando-se com a membrana de MF. Para as pressões de 0,5 e 1,0 bar, aos 60 minutos, o CC foi de 0,14 e 0,17, respectivamente.

Os valores elevados de colmatação para a membrana de UF ocorreram à pressão mais alta, sendo maiores principalmente na pressão de 1,5 bar, na qual, no tempo de 60 minutos, chegou a 0,44.

Conforme afirmam Vidal e Campos (2009), a fração coloidal presente nos efluentes que são microfiltrados, a qual compreende a faixa de partícula próxima do diâmetro dos poros da membrana de microfiltração, é a mais relevante na colmatação dessas membranas, causando na maior parte das vezes, obstrução interna dos poros. Mesmo a retrolavagem e o escoamento tangencial pela membrana não são suficientes para a remoção destas partículas nas membranas.

O *fouling* aliado a concentração de polarização representam as maiores limitações para a aplicação de membranas no tratamento de efluentes (RAO, 2002). Verifica-se através dos valores de CC encontrados que a membrana de MF tem maior acúmulo de partículas em sua superfície se comparada com a membrana de UF. Isso pode significar que a aplicação de tal membrana pode ser limitada para o efluente oriundo de laticínio. A membrana de UF sofre menor influência dos fenômenos de *fouling*.

4. Considerações finais

As membranas de microfiltração e ultrafiltração, com relação a permeação de água destilada, praticamente não apresentaram redução de fluxo e influência dos fatores de polarização da concentração, colmatção, incrustação na superfície da membrana e entupimento de poros, sendo pouco sensíveis à histerese e/ou compactação do polímero da membrana, devido à reversibilidade das condições iniciais de fluxo, quando da pressurização e despressurização do módulo.

Com a permeação de efluente pela membrana, contrariamente, houve influência dos fatores de polarização da concentração, colmatção, incrustação na superfície da membrana e entupimento de poros, o que causou a redução do fluxo permeado e entupimento das membranas de microfiltração e ultrafiltração.

O fluxo de água destilada aumenta linearmente com o aumento da pressão aplicada a membrana de microfiltração e ultrafiltração, ou seja, quanto maior a pressão aplicada a membrana, maior o fluxo permeado. Quando emprega-se as mesmas condições operacionais, ocorre uma diferença significativa nos fluxos permeados utilizando amostras de água destilada e efluentes. Tanto para a microfiltração, quanto para a ultrafiltração, o fluxo de água destilada foi superior ao fluxo permeado das amostras de efluentes.

O cálculo do coeficiente de colmatção para a membrana de MF e UF nas diferentes pressões (0,5, 0,75 e 1,0 bar para MF e 0,5, 1,0 e 1,5 bar para UF), demonstrou que as duas membranas sofrem com o acúmulo de partículas na superfície da membrana, porém, a membrana de MF apresentou maior efeito de colmatção, o que pode comprometer o seu uso no tratamento de efluente de laticínio após o tratamento secundário por lagoa aerada de mistura completa.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Procedimento. NBR 9897. Rio de Janeiro, 1987^a.

_____. Rio de Janeiro: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Procedimento. NBR 9898. Rio de Janeiro: 1987^b.

AMARAL, M. C. S. ANDRADE, L. H. de. LANGE, L. C. BORGES, C. P. Avaliação do emprego de microfiltração para remoção de fibras do efluente de branqueamento de polpa celulósica. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 18, n. 1, p. 65-74. Jan-mar 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIROMENT FEDERATION – WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.

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: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001.

BEZERRA, L. F. MATSUMOTO, T. Avaliação da remoção da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada de águas residuárias em biorreator de membranas. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. V.15, n. 13, p. 253-260, Jul/set 2011.

CONSTANZI, R. N. Tratamento de efluentes domésticos por sistemas integrados de lodos ativados e membranas de ultrafiltração visando o reúso de água. 2007. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2007.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 70, de 1 de outubro de 2009 - Condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais.

DACANAL, M. BEAL, L. L. Filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração tratando lixiviado de aterro sanitário. Revista Sanitária e Ambiental. V. 15, n. 1. Jan-Mar 2010, p. 11-18.

FAPPI, Devanir André. Micro e ultrafiltração como pós-tratamento para o reúso de efluentes de abatedouro e frigorífico de suínos. 2015. 126 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

GIACOBBO, A. RODRIGUES, M. A. S. BERNARDES, A. M. FERREIRA, J. Z. MENEGUZZI, A. Microfiltração aplicada ao tratamento de efluentes de curtume. In: VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Processos de separação por membranas. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

MAGANHA, M. F. B. (Elab.). Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos – Série P+L. São Paulo: CETESB, 2008.

MIERZWA, J. C.; HESPAÑHOL, I. Água na indústria: uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

PAM MEMBRANAS. Manual de instalação, operação e manutenção. Unidade de MF/UF/NF de bancada, 2012.

RAO, R. H. G. Mechanisms of flux decline during ultrafiltration of dairy products and influence of pH on flux rates of whey and buttermilk. Desalination. Amsterdam, v. 144, n. 1-3, p. 319-324, 2002.

SARMENTO, L. A. V. Obtenção e separação de polifenóis de sementes de cacau por extração supercrítica associada a membranas. 2007. 103 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.