

Capítulo 6

Avaliação da microfiltração no tratamento de água com alto teor de sólidos totais

Bruna Dolabella Eustáquio

Kátia Cecília de Souza Figueiredo

Resumo: Considerando a presença de sólidos em suspensão um risco à preservação dos recursos hídricos, viu-se a necessidade de alternativas de tratamentos de águas contaminadas para remoção deste, como é o caso do Rio Doce, após o rompimento da barragem da mineradora Samarco. Nesse trabalho, fez-se a investigação da microfiltração como uma possibilidade de tratamento, que é um método de retenção física, onde a membrana funciona como barreira seletiva de acordo com a granulometria da partícula a ser retida. Sendo assim, avaliou-se a permeação de uma água sintética com 2291 mg/L de sólidos totais através de uma membrana com diâmetro de poro de 0,4 μm , assim como o mecanismo de incrustação a partir do modelo de Hermia e análise granulométrica dos sólidos que compunham a amostra. Com a permeação, obteve-se um fluxo de 182,6 L/hm² que, após o início, teve uma queda de 30% e se estabilizou, e um coeficiente de transferência de massa igual a 4×10^8 h/m⁸. Além disso, o modelo de Hermia também apontou o mecanismo de incrustação como filtração com formação de torta, e a afirmação foi reforçada pela análise granulométrica que indicou um tamanho de sólido na ordem de 53 μm .

Palavras-chave: microfiltração; processo de separação por membranas; Rio Doce; sólidos suspensos totais; tratamento de água.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos industriais gerados no beneficiamento de minério são de grande preocupação por parte das empresas e dos órgãos socioambientais. Um dos principais problemas é a presença de sólidos finos, que podem prejudicar a vida aquática quando em alta concentração no meio, por aumentar a turbidez da água. Este foi um dos parâmetros monitorados pelos órgãos ambientais e institutos de pesquisa com relação à qualidade do Rio Doce, após o rompimento da barragem da mineradora Samarco, localizada na cidade de Mariana, em Minas Gerais. Neste sentido, a busca por alternativas de tratamento de água contaminada por sólidos finos tornou-se atual, já que a sedimentação pode ser um processo extremamente lento, além de demandar grandes áreas nas estações de tratamento [1].

A microfiltração (MF) é um método de retenção física, onde a membrana funciona como barreira seletiva de acordo com o tamanho da partícula a ser retida. A força-motriz é um gradiente de pressão aplicado através da membrana, que separa a alimentação do permeado. As membranas utilizadas são poliméricas sintéticas e porosas, de modo que a distribuição de tamanho de poros é escolhida com base na espécie que se deseja reter [2].

A faixa de tamanho de poros na MF varia entre 0,1 e 10 μm , enquanto a diferença de pressão através da membrana é de até 3 bar [2]. Comparativamente à sedimentação, a microfiltração apresenta a vantagem de ser um processo que demanda menor área na estação de tratamento, além de ser modular, como os demais processos de separação por membranas, o que garante facilidade de partida e operação [3].

Uma das principais desvantagens da microfiltração é a tendência de incrustação da membrana, o que diminui sua vida útil e reduz a produtividade do processo como um todo. Dentre as alternativas para minimizar a incrustação estão o uso de membranas hidrofílicas, a prática de retrolavagem periódica e a limpeza química da membrana, quando for o caso [4]. Considerando a variedade de mecanismos capazes de promover a incrustação de membranas, como bloqueio de poros, adsorção, gelificação e formação de torta, é difícil, *a priori*, determinar qual é o método mais adequado para restabelecer o fluxo.

O objetivo deste trabalho foi investigar o uso de uma membrana comercial de policarbonato com poros cilíndricos na microfiltração de uma solução sintética simulando a composição de turbidez e sólidos totais obtidos na água do Rio Doce em novembro de 2015. A partir dos dados obtidos, foi possível avaliar o mecanismo de incrustação apresentado pelo sistema em questão.

2. EXPERIMENTAL

2.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados foram membrana de policarbonato, com diâmetro de poro de 0,4 μm (Cyclopure, Track Etched), água sintética, preparada a partir de uma mistura de argila comercial, cloreto de alumínio e sulfato de ferro (II) e água deionizada.

2.2. PREPARO DA AMOSTRA DE ÁGUA SINTÉTICA

A partir dos resultados apresentados pelos relatórios ambientais [5], preparou-se a água sintética utilizando cloreto de alumínio, sulfato de ferro (II) e argila com as concentrações de 0,22, 0,58 e 2.280 mg/L, respectivamente. A amostra foi caracterizada em relação à turbidez, sólidos totais e condutividade [6].

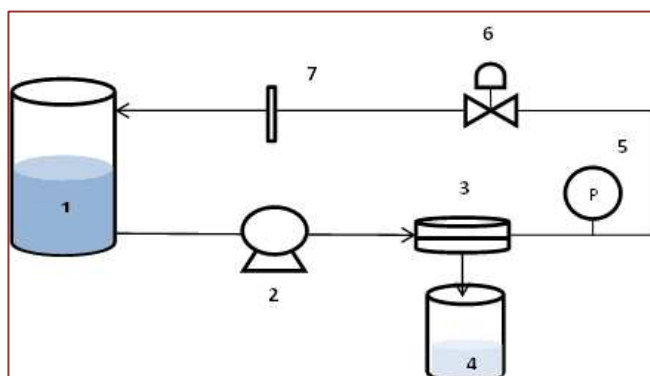
2.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A fim de avaliar a granulometria dos sólidos que estavam presentes na amostra, fez-se a devida análise por peneiramento de uma porção de 150 gramas de argila, utilizando uma série de peneiras na ordem de 270, 325 e 400 mesh.

2.4. TESTES DE PERMEAÇÃO

Os ensaios de permeação foram realizados no sistema ilustrado na Fig. 1. A alimentação foi bombeada até a célula de permeação, com área de 0,13 m^2 , onde a corrente de permeado foi recolhida e o concentrado retornou ao tanque de alimentação após passar pelos medidores de pressão e de vazão.

Figura 1 – Esquema da montagem experimental utilizada nos testes de permeação. 1 – Tanque de alimentação, 2 – bomba, 3 – célula de permeação, 4 – saída de permeado, 5 – manômetro, 6 – válvula, 7 – rotâmetro.



Inicialmente, foram realizados testes de compactação da membrana com água pura, seguida da permeação da solução de água sintética preparada. O fluxo permeado foi calculado pela Eq. 1.

$$J = \frac{v}{At} \quad (1)$$

Onde J é o fluxo permeado, em L/hm², v é o volume, em L, A é a área da membrana, em m² e t é o tempo, em horas. Para a determinação da permeabilidade hidráulica, L_p, em L/hm²bar, utilizou-se a Eq. 2, em que ΔP é a diferença de pressão através da membrana, em bar.

$$Lp = \frac{J}{\Delta p} \quad (2)$$

O coeficiente de rejeição, baseado no valor de turbidez da amostra, foi determinado de acordo com a Eq. 3, onde R é o coeficiente de rejeição, C_P e C_A são os valores de turbidez da alimentação e do permeado, respectivamente.

$$R = 1 - \frac{C_P}{C_A} \quad (3)$$

A determinação do mecanismo de incrustação foi realizada por meio de ajuste dos dados experimentais ao modelo de Hermia, conforme Tabela 1. A partir deste modelo, foi possível estimar o valor de k, coeficiente de transferência de massa para a filtração. A qualidade do ajuste foi avaliada a partir do coeficiente de correlação do modelo, R².

Tabela 1 – Equações do modelo de Hermia em função do tipo de incrustação [7]

Mecanismo	Modelo	Equação
Filtração com bloqueio completo dos poros	$\ln (J^{-1}) = \ln (J_0^{-1}) + kt$	(4)
Filtração com bloqueio padrão dos poros	$J^{-1/2} = J_0^{-1/2} + kt$	(5)
Filtração com bloqueio intermediário de poros	$J^{-1} = J_0^{-1} + kt$	(6)
Filtração com formação de torta	$J^{-2} = J_0^{-2} + kt$	(7)

Nas Equações 4 a 7, J₀ é o fluxo inicial, em L/m²h.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados para a caracterização da água sintética preparada são apresentados na Tabela 2.

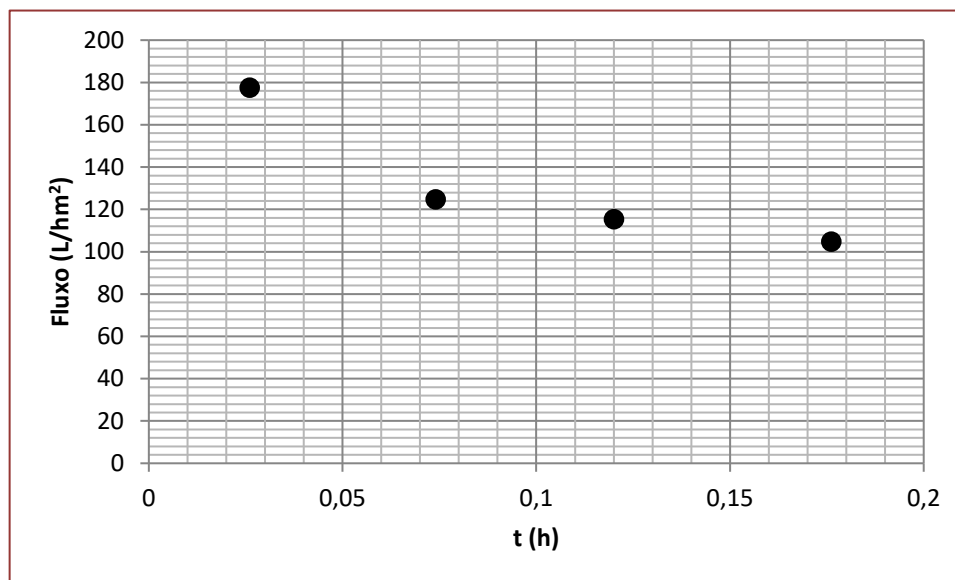
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos da água sintética preparada

Parâmetro	Valor
Sólidos totais (mg/L)	2291
Turbidez (NTU)	2109
Condutividade ($\mu\text{S/m}$)	831,7

Os valores observados para a amostra sintética estão de acordo com aqueles reportados nos relatórios ambientais para a água do Rio Doce em novembro de 2015 [5].

A caracterização da membrana comercial com água pura revelou uma permeabilidade hidráulica de $(188 \pm 4) \text{ L/hm}^2\text{bar}$. Para os testes com a água sintética, o comportamento do fluxo com o tempo é apresentado na Fig. 2. Observa-se uma queda do fluxo nos primeiros minutos de teste, houve uma queda de cerca de 30% do fluxo, que se estabilizou com o tempo.

A partir dos dados de turbidez da alimentação e do permeado, foi possível estimar um coeficiente de rejeição igual a 99,997%.

Figura 2 – Variação do fluxo permeado com o tempo

Condições do teste: $\Delta P = 0,2 \text{ bar}$, vazão da alimentação: 48 L/h , área da membrana: $0,13 \text{ m}^2$.

A partir dos ajustes das Eq. 4 a 7, Tabela 2, foi possível verificar que o mecanismo que governou a incrustação nas membranas foi o de formação de torta, sendo que o valor de R^2 para o ajuste foi de 0,9356, com coeficiente de transferência de massa igual a $0,0004 \text{ m}^4\text{h/L}^2$ e J_0 igual a $182,6 \text{ L/hm}^2$.

Tabela 2 – Ajuste do modelo de Hermia

Mecanismo	k	J_0	R^2
Filtração com bloqueio completo dos poros	3,3071	177,5	0,8528
Filtração com bloqueio padrão dos poros	0,1426	179,2	0,8752
Filtração com bloqueio intermediário de poros	0,0247	181,8	0,8968
Filtração com formação de torta	0,0004	182,6	0,9356

Em relação à análise granulométrica, o ensaio de peneiramento proporcionou os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da análise granulométrica

Abertura (μm)	Massa Retida (g)	Fração Retida (%)
53	118,5	79
44	29,9	19,9
37	0,5	0,33

Tais resultados reafirmam o ajuste apontado pelo modelo de Hermia, já que grande parte do material foi retido na primeira peneira, indicando que a granulometria média dos sólidos presentes na amostra é de aproximadamente 53 μm . Uma vez que a membrana utilizada apresenta um diâmetro de poro na ordem de 0,4 μm , fica evidente a impossibilidade de os grãos de argila bloquearem os poros da membrana, tornando possível apenas a formação de torta na superfície do material.

4. CONCLUSÕES

A membrana de microfiltração de policarbonato com poros cilíndricos apresentou uma permeabilidade hidráulica de (188 ± 4) L/hm²bar e os resultados indicaram que o mecanismo de incrustação da solução sintética através da membrana foi o de formação de torta, com coeficiente de transferência de massa de 4×10^8 h/m⁸ e um J_0 igual a 182,6 L/hm². A proposta foi confirmada a partir da análise granulométrica dos sólidos, que indicou um tamanho de grão na ordem de 53 μm , reafirmando o ajuste indicado pelo modelo de Hermia. Além disso, como o diâmetro de poro da membrana é na ordem de 0,4 μm , ficou evidente o bloqueio dos poros pelos grãos de argila.

A partir desse trabalho, é possível visualizar a aplicabilidade do uso de módulos maiores de membranas para a retenção de sólidos em águas contaminadas. Como trabalhos futuros, pode-se inserir testes com módulos de fibra oca no projeto, ampliando ainda mais a possibilidade de uso desse tipo de tratamento em plantas de porte industrial.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Departamento de Engenharia Sanitária da UFMG, à PUC/MG e ao DEQ/EE/UFMG pelo auxílio na realização da pesquisa. Os autores também agradecem à Fapemig, à Capes e ao CNPq (455330/2014-0).

REFERÊNCIAS

- [1] B. CANCINO-MADARIAGA, J. AGUIRRE. *Desalination*. 2011, 279, 285.
- [2] A. C. HABERT, C. P. BORGES, R. NOBREGA. *Processos de Separação por Membranas*, E-papers, Rio de Janeiro, 2006, 1-180.
- [3] R.W. BAKER. *Membrane Technology and Applications*, John Wiley & Sons, 2004.
- [4] M. MULDER. *Basic Principles of Membrane Technology*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [5] IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Acompanhamento da qualidade das águas do Rio Doce após o rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues – Mariana/MG*, 2015.
- [6] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* – 22 ed, 2012
- [7] Y. KAYA, Z. B. GONDER, I. VERGILI, H. BARLAS. *Desalination*, 2010, 250, 150.