

II-213 - UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS RECICLADAS NO POLIMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA FINS DE REÚSO

Ramon Matheus Guimarães Batista⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Eduardo Coutinho de Paula⁽²⁾

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG). Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia Mauá. Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Z, 63 – Nossa Senhora da Conceição - Sabará - MG - CEP: 34505-710 - Brasil - Tel: (31) 99949-8842 - e-mail: ramonmgbatista@gmail.com.

RESUMO

O manejo correto e adequado da água tem sido uma preocupação da humanidade. Diversas regiões do planeta lidam com problemas relacionados ao abastecimento de água em padrões adequados. A situação é ainda agravada por crises hídricas, que se tornam cada vez mais recorrentes devido a conflitos socioambientais e às consequências do aquecimento global. Em situações que exijam economia de água, a utilização de água de reúso em atividades diárias tem sido uma das principais soluções. Processos de separação por membranas são uma opção para obter água de reúso, e a utilização de membranas recicladas no processo pode contribuir para solucionar a demanda do setor industrial quanto ao descarte correto destas membranas. Este estudo busca aprofundar as capacidades de separação de membranas recicladas, estabelecendo o potencial de geração de água de reúso a partir de esgoto secundário e tipificando seus usos. Uma membrana de Osmose Inversa (OI) (BW30 Filmtec) foi previamente reciclada e testes em escala de bancada foram aplicados utilizando-a como uma membrana de Ultrafiltração (UF). Foram realizadas análises físico-químicas no permeado obtido e a capacidade de recuperação de fluxo da membrana foi avaliada. Os resultados foram comparados com a regulamentação atual para reúso de água para se estabelecer os possíveis usos para o permeado.

PALAVRAS-CHAVE: membrana reciclada, água de reúso, esgoto secundário.

INTRODUÇÃO:

Visando uma economia de água e redução da poluição dos corpos hídricos, principalmente quando considerados potenciais crises hídricas, a produção de água de reúso tem sido cada vez mais requisitada. Processos de separação por membranas têm se mostrado uma ótima solução para o polimento ou pós-tratamento de esgotos, produzindo uma água de qualidade que é aplicável às diversas modalidades de reúso. As membranas de Microfiltração (MF) e Ultrafiltração (UF) são capazes de remover material em suspensão e micro-organismos, tendo as membranas de UF já sido estudadas tanto para tratamentos de efluentes secundários como no pré-tratamentos de sistemas de Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI), sendo o pré-tratamento necessário para controlar as incrustações, reduzir custos ou ainda redução do tamanho do equipamento principal (Yamamoto, 2011).

Nos campos acadêmico e industrial, cada vez mais tem-se conduzido estudos referentes à reciclagem de membranas poliméricas (Lawler *et al.*, 2015; Coutinho de Paula e Amaral, 2017; García-Pacheco *et al.*, 2018), porém os empregos a que estas membranas recicladas podem ser destinadas ainda demandam estudos. Sabe-se, no entanto, que estas membranas apresentam êxito para tratar efluentes orgânicos sintético, ao menos em escala de bancada, utilizando de baixa pressão e apresentando bons resultados, bem como alta remoção de turbidez, cor aparente, substâncias húmicas e cor aparente (Coutinho de Paula *et al.*, 2017a). Outra vantagem é a condição favorável para o fluxo e permeado, com uma baixa propensão à incrustação orgânica, que se mostrou facilmente reversível por meio de limpeza física e limpeza química convencional para recuperação da permeabilidade. Foi relatado também que em comparação com membranas similares de UF comerciais, as membranas recicladas apresentam melhor eficiência energética, operando com pressão de 1 bar, enquanto as

convencionais demandam 2 bar para um mesmo sistema de pós-tratamento de esgoto secundário (Lemos, 2019).

Nesse contexto, a presente pesquisa dá continuidade e aprofundamento a estudos anteriores, buscando determinar se membranas recicladas são capazes de produzir água de reúso e as modalidades a que ela se aplica.

OBJETIVO

O principal objetivo foi determinar a capacidade de membranas poliméricas recicladas em gerar água de reúso e a quais modalidades de reúso a água produzida pode ser aplicada. Outro objetivo da pesquisa foram estabelecer as melhores condições operacionais para o sistema de pós-tratamento de água com a membrana reciclada.

METODOLOGIA

Utilizando-se estudos prévios (Coutinho de Paula *et al.*, 2017b) uma membrana de Osmose Inversa (OI) descartada (BW30 Filmtec) foi reciclada. Inicialmente foi feita uma limpeza química da membrana buscando remover incrustações e recuperar o fluxo de permeado. Para isso, a membrana foi imersa em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1% seguido pela imersão em ácido clorídrico (HCl) 0,2%, sendo durante dezesseis horas cada. Para remoção da camada seletiva densa da membrana de OI, convertendo-a assim para uma membrana porosa, foi realizado um banho em solução oxidante de hipoclorito de sódio (NaClO) comercial. Estudos recentes mostram a eficiência do uso destas membranas recicladas em comparação a membranas convencionais (Lemos, 2019).

Para os testes, utilizou-se uma célula de aço inoxidável com 1 mm de altura interna e 4,5 cm de raio, área de permeação de 64 cm², assim simulando uma operação com a membrana plana. As membranas utilizadas foram previamente cortadas e um espaçador de alimentação foi colocado sobre estas membranas para garantir uma boa distribuição de fluxo de alimentação. Todos os testes foram realizados em escala de bancada.

A Figura 1 representa o sistema de operação, composto por um tanque de alimentação, uma bomba conectada a um controlador de velocidade, um rotâmetro para leitura da vazão de alimentação, uma válvula para ajuste de pressão, manômetro e medidor de temperatura.

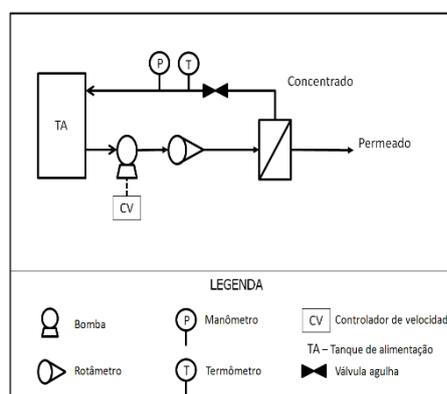


Figura 1: Representação esquemática da unidade de permeação (Autores, 2022).

O efluente tratado é proveniente do reator UASB da Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas (ETE-Arrudas), Minas Gerais. Os ensaios avaliaram a capacidade da membrana de remover material em suspensão, atentando-se para a tendência de incrustação da membrana utilizada. A vazão foi de 2,4 L·min⁻¹, o pH foi ajustado para ~7 e a temperatura foi de 25 °C, sendo a pressão de operação utilizada de 1 bar. O ensaio para o tratamento do esgoto secundário foi realizado durante 7 horas.

Para o permeado obtido no processo, foram realizados testes de pH, condutividade elétrica, cor aparente, turbidez, COT, DQO, nitrogênio total e amoniacal, sólidos suspensos totais e voláteis, sulfato. As análises físico-químicas seguiram a metodologia proposta em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017).

RESULTADOS OBTIDOS

Durante o tempo de tratamento, observou-se a tendência do fluxo de permeado diminuir gradualmente ao longo do tempo, como apresentado na Figura 2. Como esperado, o declínio do fluxo de permeado é mais acentuado nas primeiras horas de permeação, e que aproximadamente entre as horas ~3,5 e ~4 de operação o fluxo se estabilizou, chegando próximo ao estado estável. Este fenômeno está associado à polarização e incrustação, comuns em processos de separação por membranas e que podem ser também vistos em membranas comerciais (Lemos, 2019).

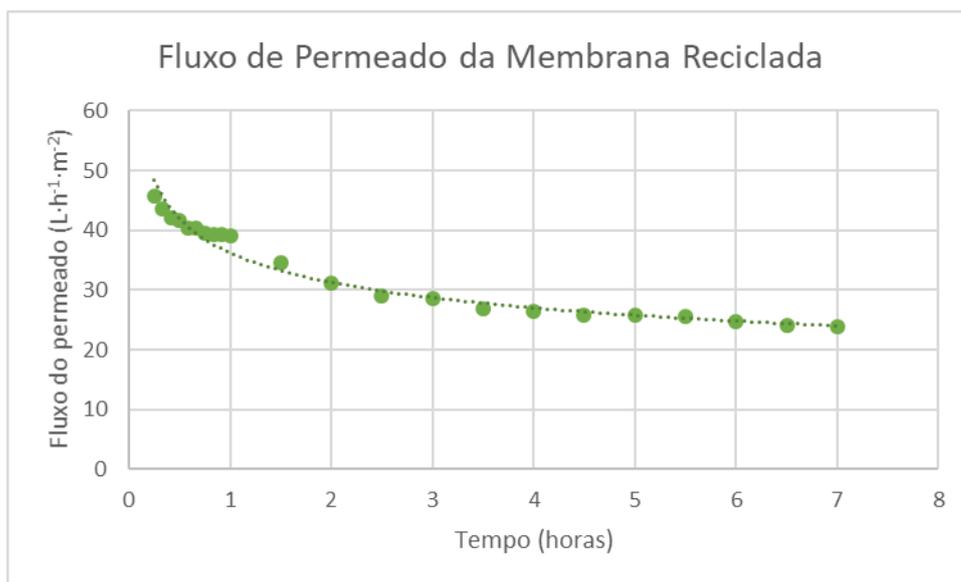


Figura 2: Fluxo de permeado para ~7 h de tratamento (Autores, 2022).

Também foram realizadas análises físico-químicas para avaliar a qualidade do permeado obtido. A Tabela 1 mostra estes resultados, sendo possível observar elevados valores de remoção para turbidez e cor, acima de 90%, seguido de remoção próxima a 50% para DQO e sólidos suspensos totais.

Tabela 1: Comparação das características físico-químicas dos parâmetros antes e após pós-tratamento do esgoto secundário.

Parâmetro	Unidade	Esgoto do Reator UASB	Permeado Membrana Reciclada	Remoção (%)
pH	-	7,89	7,48	-
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	733,5	695,01	5,2%
Cor aparente	uH	217,57	17,61	91,9%
Turbidez	UNT	25,200	0,578	97,7%
COT	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	21,24	15,85	25,4%
DQO	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	142,65	76,77	46,2%
Nitrogênio Total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	48,72	35,41	27,3%
Nitrogênio Amoniacal	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	31,85	25,75	19,2%
Sólidos Suspensos Totais	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	312,27	180,21	42,3%
Sólidos Suspensos Voláteis	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	227,36	169,16	25,6%

Parâmetro	Unidade	Esgoto do Reator UASB	Permeado Membrana Reciclada	Remoção (%)
Sulfato	mg·L ⁻¹	38,11	22,97	39,7%

Fonte: Autores, 2022

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Em relação às características operacionais, verifica-se que valor de pressão de 1 bar é ideal, gerando bons valores de fluxo de permeado. Este valor está de acordo com o proposto na literatura para membranas de UF comerciais e representa uma economia energética para sistemas de separação por membranas (Coutinho de Paula *et al.*, 2017b; Lemos, 2019), principalmente se considerado a operação contínua ou de longa duração.

A respeito dos resultados das análises dos parâmetros de caracterização, é possível constatar uma diferença entre os valores obtidos dos parâmetros comparado com outros estudos. Por exemplo, Battistelli (2016) utilizou membrana de MF e reportou remoções de sólidos suspensos totais menores do que as observadas neste estudo, enquanto a remoção de nitrogênio apresentada pelo autor encontra-se acima da verificada no presente estudo. Estas diferenças podem estar associadas com a condução do ensaio ou às diferenças do próprio efluente estudado. No entanto, é um consenso na literatura a elevada capacidade das membranas comerciais de UF em realizar remoção de turbidez e cor aparente, portanto revelando o desempenho satisfatório da membrana reciclada.

A política de reúso de água no Brasil ainda não conseguiu estabelecer uma legislação federal que oriente os padrões de qualidades mínimos para a prática, ainda que a modalidade receba menções, como na Lei 14.026/2020 que determinou à Agência Nacional de Água e Saneamento (ANA) o papel de instituir normas de referência. No entanto, é possível encontrar nos âmbitos municipais e estaduais legislações acerca desta atividade em vários estados da federação, como São Paulo, Minas Gerais, Bahia, Ceará e Rio Grande do Sul, ainda que com alguma limitação, restrições muito elevadas, podendo dificultar a adoção das práticas, e com valores destoantes entre as localidades (Santos *et al.*, 2020). Deste modo, este estudo buscou referências internacionais para definir a modalidade de reúso de água, com o *Guidelines for Water Reuse* (2012) da Agência de Proteção Ambiental estadunidense (USEPA) como principal referência. Buscando-se avaliar a qualidade do permeado produzido à luz de uma referência nacional, adotou-se também a Deliberação Normativa CERH – MG nº 65/2020, de Minas Gerais. A

Tabela 2 resume os padrões mínimos em cada uma das referências com o nível de restrição de uso.

Tabela 2: Padrão de qualidade para parâmetros analisados para reúso de água em diferentes modalidades

Padrão	Modalidade	Parâmetros de referência	Valor de referência	Nível de restrição de uso
Guidelines for Water Reuse	Irrigação de áreas recreacionais	pH	6,5 - 8,4	Baixa a moderada
		SST	< 450 mg·L ⁻¹	Sem restrição
		Condutividade elétrica	< 700 µS·cm ⁻¹	Sem restrição
	Irrigação agrícola	pH	1,5 - 8,5	Baixa a moderada
		SST	< 450 mg·L ⁻¹	Sem restrição
		Condutividade elétrica	< 700 µS·cm ⁻¹	Sem restrição
Deliberação Normativa CERH – MG nº 65/2020	Agrossilvipastoril	pH	6 - 9	Amplio
		Condutividade elétrica	≥ 500000 µS·cm ⁻¹	Valor mínimo para utilização
	Urbano	pH	6 - 9	Amplio

Padrão	Modalidade	Parâmetros de referência	Valor de referência	Nível de restrição de uso
	Ambiental	pH	6 - 9	Amplio

Fonte: Autores, 2022, adaptado de EPA, 2012 e CERH, 2020

Para os parâmetros estudados, observa-se que o permeado obtido no processo de separação por membrana não pode atender apenas a modalidade agrossilvipastoril, segundo a deliberação normativa mineira. Neste caso, o alto valor de condutividade elétrica é recomendado a fim de evitar o risco de dispersão de argila no solo, considerando os valores de Razão de Adsorção de Sódio (RAS) que o esgoto pode apresentar. Além disso, as normativas consultadas apontam a necessidade de se avaliar parâmetros microbiológicos, de modo a evitar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente. Algumas modalidades, como a irrigação agrícola, exigem que alguns nutrientes específicos sejam monitorados.

CONCLUSÕES

Por meio do estudo, constata-se a capacidade de membranas recicladas serem aplicadas no pós-tratamento de esgoto doméstico, apresentando valores adequados de remoção para parâmetros de natureza físico-química. A avaliação de duas legislações referentes aos padrões de qualidade para água de reúso constataram que o permeado obtido apresenta potencial de uso, contudo, é necessário verificar também a remoção de parâmetros microbiológicos, buscando garantir a inexistência de riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Por fim, nota-se a necessidade de avanço brasileiro na produção de uma legislação mais robusta voltada para questão de reúso de água, visto que, o que se observa atualmente é uma diversidade muito ampla de valores de referência, com padrões sobrepostos, o que dificulta e atrasa a implementação de práticas de reúso de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American Public Health Association, 2017.
2. BATTISTELLI, A. A.; VIDAL, C.M. S.; SOUZA, J.B.; CAVALLINI, G.S. **Tratamento Avançado de Efluente de Reator UASB por Membrana de Microfiltração Associado à Desinfecção por Radiação Ultravioleta**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 37, n. 1, p. 45-54, 2016.
3. CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (Minas Gerais). **Deliberação Normativa CERH-MG Nº 65, de 18 de junho de 2020. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências**. Diário do Executivo de Minas Gerais. 20 de jun. 2020.
4. COUTINHO DE PAULA, E.; AMARAL, M.C.S. **Extending the life-cycle of reverse osmosis membranes: A review**. Waste Management & Research, v. 35(5), p.456-470, 2017.
5. COUTINHO DE PAULA, E.; FERREIRA, I.C. M.; GOMES, J.C.L.; AMARAL, M.C.S. **Uso de membranas recicladas no tratamento de efluente orgânico**. In: Anais 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES FENASAN). São Paulo/SP. (2017a).
6. COUTINHO DE PAULA, E.; GOMES, J.C.L.; AMARAL, M.C.S. **Recycling of end of-life reverse osmosis membranes by oxidative treatment: a technical evaluation**. Water Science and Technology, 76(3) 605-622, 2017. (2017b)

7. GARCÍA-PACHECO, R.; AGUIRRE, J. L.; RODRÍGUEZ, P.T.; CAMPOS, E.; SERRANO, F.M.; RABADÁN, J.; ZARZO, D.; CALVO, E.G. **Validation of recycled membranes for treating brackish water at pilot scale.** Desalination, v. 433, p. 199-208, 2018.
8. LAWLER, W.; GAITAN, J.A.; LESLIE, G.; LE-CLECH, P. **Comparative life cycle assessment of end-of-life options for reverse osmosis membranes.** Desalination, v. 357, p. 45-54, 2015.
9. LEMOS, G. M.R., FAGUNDES, L.A.; COUTINHO DE PAULA, E. **Avaliação do desempenho de membranas recicladas para emprego no tratamento de esgoto secundário.** In: Anais 2º Workshop de Tecnologias Limpas. Belo Horizonte, 2019.
10. SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R.F.; DE MELO, M.C.; LIMA, M.A.M.; ARAÚJO, B.M. **Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil.** Revista Sustinere, v. 8, n. 2, dez. 2020.
11. USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse.** EPA/600/R12/618. set. 2012.
12. YAMAMOTO, K. **Guidelines for Introducing Membrane Technology in Sewage Works,** 2nd Edition. Sewage Technical Meeting on Membrane Technology, Tokyo - Japan. 2011.