

# REMOÇÃO DE TURBIDEZ NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS UTILIZANDO BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA SUBMERSA

Rafaela Barbosa Santos<sup>1</sup>  
Juane Nogueira Nascimento<sup>2</sup>  
Maria Virginia da Conceição Albuquerque<sup>3</sup>  
Marília Patrício Alves<sup>4</sup>  
Prof. Dr. Wilton Silva Lopes<sup>5</sup>

## RESUMO

A maior aceitabilidade dos processos de Biorreatores Anaeróbios de Membrana (BRM) permitiu o desenvolvimento de diversas metodologias a fim da maneira mais viável de tratar águas residuais. O objetivo desse trabalho foi observar o desempenho de um biorreator anaeróbio de membrana dinâmica com módulo submerso, avaliando a capacidade de remoção de matéria orgânica e turbidez de uma água residual doméstica, observando os parâmetros operacionais do biorreator para maximizar essa remoção. O biorreator foi construído nas dependências da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgoto Sanitário em Campina Grande – Paraíba, com capacidade total para 4,39 litros. Para a montagem do módulo de membrana, utilizou-se duas camadas, uma tela metálica e um material suporte, uma malha de polietileno com tamanho de poro médio de 89  $\mu\text{m}$ . O biorreator operou continuamente por 90 dias, período entre abril e junho, na qual a pressão transmembrana se manteve entre 20 e 40 kPa, observou-se, ainda, que o afluente que possuía uma turbidez em torno de 271,86 NTU passou a ter, após o sistema de tratamento de filtração por Membrana Dinâmica, uma turbidez em torno de 80,45 NTU, garantindo, assim, uma remoção de cerca de 70.4%.

**Palavras-chave:** Membrana Dinâmica, Digestão Anaeróbia, Turbidez

## INTRODUÇÃO

Os Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica é uma tecnologia bastante estudada atualmente por ser relativamente nova e por possuir custos de aplicação e operação bem menores, quando comparadas à outras tecnologias já existentes. Sua maior aceitabilidade

<sup>1</sup> Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, [rafaelab.esa@gmail.com](mailto:rafaelab.esa@gmail.com);

<sup>2</sup> Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, [juane.nogueira@gmail.com](mailto:juane.nogueira@gmail.com);

<sup>3</sup> Doutoranda em Engenharia Ambiental – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, [virginia.albuquerque@yahoo.com.br](mailto:virginia.albuquerque@yahoo.com.br);

<sup>4</sup> Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, [mariliapatrici@gmail.com](mailto:mariliapatrici@gmail.com);

<sup>5</sup> Prof. Doutor pelo Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, [wiltonuepb@gmail.com](mailto:wiltonuepb@gmail.com).

permitiu a continuidade dos estudos de desenvolvimento de reatores e metodologias atendendo às particularidades dos mais diversos tipos de águas residuárias e resíduos orgânicos.

Esses sistemas combinam um processo biológico à uma filtração feita por malha, oferecendo alta qualidade ao efluente deixando-o livre de sólidos e patógenos devido à sua maior eficiência de tratamento e completa retenção da biomassa (DERELI et al., 2012). Essa capacidade de retenção pode ser utilizada para manter as comunidades microbianas especiais que podem degradar determinados poluentes (VAN LIER et al., 2015). A filtração feita por malha foi proposta como uma alternativa ao uso de Micro e Ultrafiltração, para melhorar a capacidade de filtração e reduzir os custos de capital e gerenciamento. Quando a filtração de malha é aplicada, uma membrana dinâmica é formada no material de suporte. A membrana dinâmica é uma camada de biofilme ou “torta” obtida através da deposição de substâncias orgânicas e bactérias presentes no reator sobre a malha. Uma vez que a Membrana Dinâmica é formada, a retenção de sólidos é realizada por essa camada biológica regenerativa, enquanto a malha só atua como suporte.

O principal benefício oferecido por essa técnica é que ele prescinde de módulos de membrana dispendiosos, fornecendo uma superfície de filtração de baixo custo, regenerativa e autoformada com permeabilidade adaptável.

O objetivo desse trabalho foi observar o desempenho de um biorreator anaeróbico de membrana dinâmica com módulo submerso, avaliando a capacidade de remoção de matéria orgânica e turbidez de uma água residuária doméstica, otimizando os parâmetros operacionais do biorreator para maximizar essa remoção.

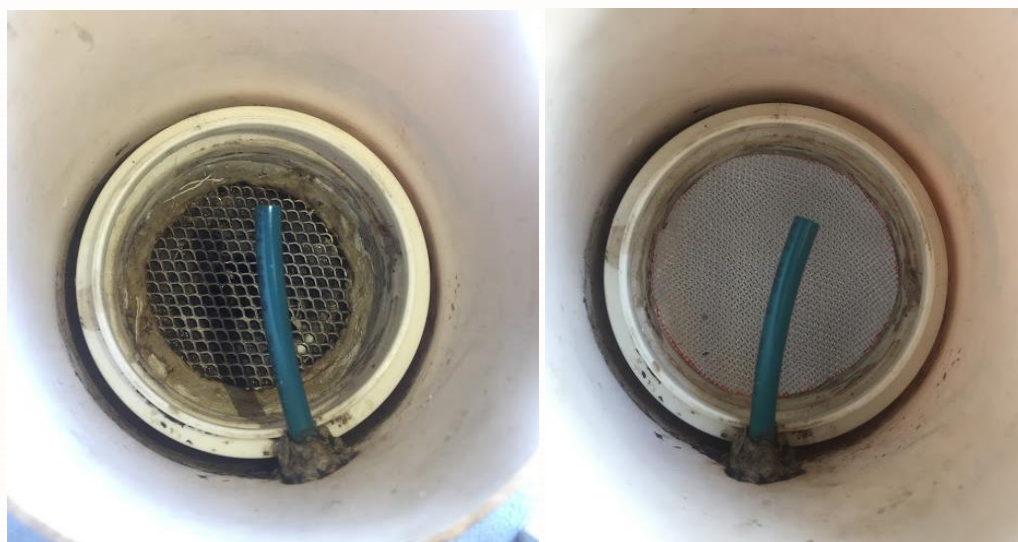
## **METODOLOGIA**

O biorreator foi construído nas dependências da Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgoto Sanitário em Campina Grande – Paraíba, utilizando um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, com capacidade total para 4,39 litros. O módulo de membrana tem formato circular com diâmetro de 90 mm e foi instalado no interior do biorreator. A coleta do permeado é obtida com auxílio de um motor de indução MOVITRAC LTE-B.

Para a montagem do módulo de membrana, utilizou-se uma tela metálica, Figura 1a, como apoio para evitar deformidade no material utilizado para formação da membrana dinâmica, material suporte, a medida que o permeado fosse succionado do biorreator. O

material suporte utilizado foi uma malha de polietileno com tamanho de poro médio de 89  $\mu\text{m}$ ,  
Figura 1b.

Figura 1: (a) Tela metálica utilizada na construção do módulo de membrana; (b) Malha de polietileno utilizada como material suporte, com 89  $\mu\text{m}$



(a)

(b)

Fonte: Autor (2019)

Além disso, foram instalados sensores de pressão em dois pontos do sistema, um ponto anterior e outro posterior ao módulo de membrana, para obtenção das medidas de pressão transmembrana (PTM). As placas nos fornecem medidas diárias em tempo real, permitindo acompanhar o desempenho do biorreator.

O biorreator foi alimentado, com o auxílio de uma bomba de dosagem magnética, ascendentemente de maneira contínua com uma vazão de  $0,9 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ , operando sob condições de temperatura ambiente, com tempo de detenção hidráulica de 8 horas. O afluente utilizado é a água residuária doméstico advinda das instalações prediais localizadas a 200 metros de distância da Estação Experimental de Tratamento de Águas e Esgotos.

Ao ser preenchido completamente, o módulo de membrana fica submerso dentro do biorreator para que haja conseqüente formação da membrana dinâmica. A coleta do permeado é realizada após a passagem pela membrana dinâmica, sendo retirado com o auxílio do motor de indução MOVITRAC LTE-B.

As análises experimentais de Turbidez foram realizadas semanalmente e em duplicata, seguindo o processo metodológico do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), para possível observação do progresso gradativo do biorreator.

## **DESENVOLVIMENTO**

### *Biorreatores Anaeróbios de Membrana (BRAnM)*

Metcalf & Eddy (2003) definem os Biorreatores de Membrana (BRM) como reatores biológicos com biomassa em suspensão, onde a separação de sólidos se dá por microfiltração através de membranas com tamanho de poro variando de 0,1 a 0,4  $\mu\text{m}$ . Ou seja, a união do tratamento biológico a um processo de separação física por membranas de micro ou ultrafiltração é dada simultaneamente no mesmo reator.

O biorreator possui a função de transformar a matéria orgânica em matéria mineral ( $\text{CO}_2$ , nitratos, fosfatos, etc) e em biomassa (novas células), enquanto que a membrana se encarrega de separar a fase líquida da sólida, de tal forma que a filtração é realizada impondo-se uma circulação frontal ou tangencial da suspensão através da membrana. Basicamente, os BRMs são uma variante do processo de lodos ativados, uma vez que o decantador secundário é substituído por um sistema de filtração por membranas, de micro ou ultrafiltração. Do mesmo modo, além de os módulos de membrana substituírem os decantadores secundários, também podem substituir os decantadores primários, ocupando uma área muito menor para tratar a mesma vazão (VIANA, 2004).

Essa tecnologia de tratamento vem ganhando destaque nos estudos ao longo dos anos. No Brasil, vários estudos estão sendo realizados para melhor compreender esta promissora tecnologia voltada ao tratamento de efluentes.

Alguns fatores importantes que são levados em consideração no que diz respeito aos BRMs são: pH, temperatura, idade do lodo, tempo de detenção hidráulica, relação alimento/microrganismo, pressão transmembrana e a colmatação dos BRMs.

O pH é sempre um parâmetro de muita importância nos sistemas de tratamento de efluentes, especialmente para os sistemas biológicos. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), a maioria dos microrganismos não tolera níveis de pH fora da faixa 4,0 – 9,5, sendo o pH ótimo entre 6,5 e 7,5. Beal (2004) ainda cita outra função ao pH: influencia na membrana. Caso ocorra variações no pH, isso influenciará a solubilidade de sais e proteínas. O efeito do pH sobre a

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br



proteína ocorre em relação à sua conformação e solubilidade. A interação entre a proteína e a membrana muda de acordo com a diminuição da solubilidade das proteínas, dependendo da faixa de pH utilizada. Isso acontece quando o mesmo se encontra no ponto isoelétrico. Dessa forma, o fluxo diminui quando o pH está próximo ao ponto isoelétrico e aumenta quanto os valores de pH se afastam deste ponto.

A temperatura também é um aspecto bastante importante em processos biológicos, pois interferem na solubilidade do oxigênio e na atividade microbiana. Braile & Cavalcanti (1993) afirmam que a concentração de oxigênio dissolvido na água a 0 °C é 14 mg/L, a 20 °C é 9 mg/L e a 35 °C < 7 mg/L. Metcalf & Eddy (2003) traz que a eficiência global do sistema também é afetada pela temperatura, devido à interferência na atividade metabólica dos microrganismos.

Contudo, Viana (2004) alerta que temperaturas elevadas aumentam a taxa das reações químicas e biológicas, devendo-se operar na faixa de temperatura usual de sobrevivência dos microrganismos. Beal (2004) afirma a importância de manter a temperatura constante, pois diferentes tipos de microrganismos são favorecidos em distintas faixas de temperaturas, ocasionando a alteração nas características de digestão do sistema.

Outro fator importante é o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) é definido como o tempo em que um determinado volume de líquido permanece no biorreator. Amplas faixas de TDH vem sendo estudadas, porém geralmente são optadas pelo TDH variando entre 5 e 12 h (JEONG, et al., 2007; MENG et al., 2007; WU et al., 2008). Meng et al. (2007) esclarecem que baixos valores de TDH geram concentrações elevadas de polímeros extracelulares e sólidos suspensos totais, além de conferir alta viscosidade. Quando operados dessa maneira, estes fatores estabeleceram um efeito negativo sobre a formação da membrana, diminuindo o fluxo do permeado. De acordo com os autores, esta queda no fluxo, é atribuída ao fato do baixo TDH causar um crescimento excessivo de bactérias filamentosas no lodo em suspensão. Segundo Viana (2004), quando se mantém fixa a concentração de sólidos suspensos totais, a produção de lodo é inversamente proporcional ao TDH. Assim, quanto maior o TDH, menor é a produção de lodo.

A quantidade de sólidos também afeta diretamente outro fator importante, a Pressão Transmembrana (PTM), parâmetro quantificado pela diferença de pressão na membrana entre a alimentação e o permeado. Para Provenzi (2005), quanto maior a PTM, maior será a velocidade com que as partículas se depositam sobre a membrana, favorecendo o entupimento acelerado dos poros, fenômeno chamado de colmatação. Desta forma, a pressões menores, o

sistema tende a manter a filtração mais estável, resultando em menores variações do fluxo permeado ao longo do tempo.

Por fim, outro fator importante levado em consideração na operação dos BRMs é a colmatação, um processo físico que acontece devido à formação de uma camada de partículas sobre a membrana, provocando o decaimento do fluxo de permeação ao longo do tempo de operação (PELEGRIN, 2004). Este fenômeno é tido como uma das principais limitações nos processos de BRMs, dá-se em decorrência da interação entre a membrana e os sólidos suspensos presentes no reator. Radjenovic et al. (2008) citam alguns fatores como sendo a principal causa deste fenômeno: adsorção de macromoléculas e material coloidal, crescimento de biofilme na superfície da membrana, precipitação de matéria inorgânica, envelhecimento da membrana.

Com o intuito de sobrepor as deficiências dos biorreatores convencionais, surgem os biorreatores anaeróbios de membranas (BRAnM), os quais combinam as vantagens oferecidas pelo BRM e a tecnologia anaeróbia. Biorreatores anaeróbios de membrana oferecem alta qualidade na saída do tratamento, livre de sólidos e patógenos devido a sua maior eficiência de tratamento e completa retenção da biomassa independente da sua capacidade de decantação ou de granulação (DERELI et al., 2012). Essa capacidade de retenção pode ser utilizada para manter as comunidades microbianas especiais que podem degradar determinados poluentes, sendo uma remediação ao problema de lavagem de biomassa (VAN LIER et al., 2015).

Dessa forma, a tecnologia apresentada se mostra uma opção atraente ao tratamento de águas residuais com condições extremas tais como alta salinidade, temperatura elevada, altas concentrações de sólidos suspensos e presença de toxicidade, que impedem a granulação e retenção da biomassa ou redução da atividade biológica.

### *Tipos de Biorreatores Anaeróbios de Membrana*

A classificação dos sistemas de BRAnMs é feita a partir da configuração na qual o módulo de membrana se encontra em relação ao biorreator e seu modo de operação, podendo ser encontrada em dois grupos: externamente ou submerso.

O primeiro grupo consiste em um biorreator ao qual é acoplado externamente o módulo de membranas. Assim, a suspensão do biorreator é bombeada ao sistema de membranas, a qual promove a separação em dois canais: o do permeado, que é removido; e o do concentrado, o qual retorna ao biorreator (LENS et al., 2002; METCALF & EDDY, 2003).

Os BRAnMs com membranas externas possuem um alto consumo de energia, de 1 a 10 kWh/m<sup>3</sup> de filtrado (CÔTÉ e THOMPSON, 2000), devido à necessidade de uma elevada velocidade tangencial (VIANA, 2004). Logo, o elevado consumo de energia acaba por restringir a utilização deste modelo de biorreator a sistemas de pequeno e médio porte, onde o reuso de água é economicamente interessante ou a otimização de espaço é um importante critério operacional (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

Já o elemento chave, que caracteriza os BRAnMs submersos, é a imersão do módulo de membranas diretamente dentro do reator biológico ou em um tanque em separado para as membranas. As membranas são sujeitas a um vácuo, no lado do permeado, proporcionando a permeação da solução, com as moléculas menores que o tamanho dos poros, através da membrana, enquanto que os sólidos, com tamanho maior que os poros da membrana, são retidos no biorreator (METCALF & EDDY, 2003).

O sistema submerso também é caracterizado por operar com baixas diferenças de pressão, de tal forma que a PTM geralmente varie de 0,2 a 0,8 bar (ARTIGA et al., 2005) Paralelamente a isso, esta configuração também apresenta baixo consumo de energia, entre 0,2 a 0,4 kWh/m<sup>3</sup> de filtrado (CÔTÉ e THOMPSON, 2000).

Além disso, a vida útil das membranas submersas tende a ser maiores do que as externas, já que a frequência de limpeza química é muito menor quando comparada à outras membranas que fazem retrolavagem a cada 20 minutos e limpeza química a cada 100 ciclos aproximadamente (PEREBOOM, 2013).

### *Membrana Dinâmica (MD)*

Como já foi dito anteriormente, um fator preocupante na utilização dos BRAnMs é o fenômeno da incrustação, que por sua vez reduz o fluxo devido ao acúmulo de partículas orgânicas e inorgânicas sobre os poros da membrana ou em sua superfície. No entanto, estudos comprovam que a eficiência de filtração é melhorada quando a membrana apresenta características de incrustação, visto a capacidade de retenção de organismos indesejados. A partir da decorrência desse fenômeno é que se dá a formação da Membrana Dinâmica.

Ersahin et al. (2014) esclarecem que o acúmulo de partículas sólidas, como células microbianas, orgânicos extracelulares e precipitados inorgânicos na superfície da membrana é um fenômeno comum que ocorre em BRAnMs durante a filtração. A matéria acumulada na superfície da membrana se torna mais densa ao longo do tempo e forma uma camada, chamada

de “torta”, que regula a limitação de incrustações e fluxo. A formação e uso efetivo dessa camada “torta” em uma camada suporte, tanto em malha como em um filtro de tecido apresenta um novo conceito de filtração, que é chamado de filtração por Membrana Dinâmica (MD). Diz-se que é “dinâmica” visto a sua capacidade de poder facilmente ser removida da superfície do material de suporte e ser reestabelecida novamente em pouco tempo. A camada MD pode ser usada como um filtro prioritário para o material de suporte, assim, mesmo com o material de suporte de poros largos, a camada densa e compacta da MD provoca uma retenção efetiva em Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica (BRAnMs).

Além disso, materiais mais baratos podem ser utilizados como material de suporte, capacitando a aplicação de BRAnM com menor custo possível. Segundo Ersahin et al. (2013), para uma formação efetiva e consolidação da camada MD, a seleção dos tipos apropriados de material suporte dizem respeito à sua estrutura, tipo do fio, tamanho dos poros e disponibilidade são aspectos importantes. Os tipos de materiais suportes mais comumente utilizados em vários estudos, incluindo ambos os reatores aeróbios e anaeróbios de membrana dinâmica são: malha, tecido e não-tecido (ERSAHIN et al., 2012).

Os benefícios oferecidos por esse tipo de filtração sobre a filtração tradicional em tratamentos biológicos são a obtenção de uma membrana de baixo custo, regenerativa, com capacidade de se formar uma superfície filtrante com capacidade de permeabilidade e altos fluxos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após os testes, pôde-se observar o comportamento de operação do biorreator anaeróbio de membrana dinâmica submersa em operação contínua utilizando uma tela de aço inoxidável e uma malha de polietileno com tamanho de poro de 89  $\mu\text{m}$ , a fim de saber a performance da filtração, considerando seu comportamento e eficiência de retenção de matéria orgânica. Na Figura 2, que após os 90 dias de funcionamento, período entre abril e junho, a pressão transmembrana se manteve entre 20 e 40 kPa, essa variação se deu ao aumento das partículas sobre o módulo de Membrana Dinâmica, no qual à medida que essa quantidade aumentava a PTM aumentava, e conseqüentemente, para se obter o mesmo valor de permeado na saída, fez-se necessário o aumento da vazão no motor de indução.

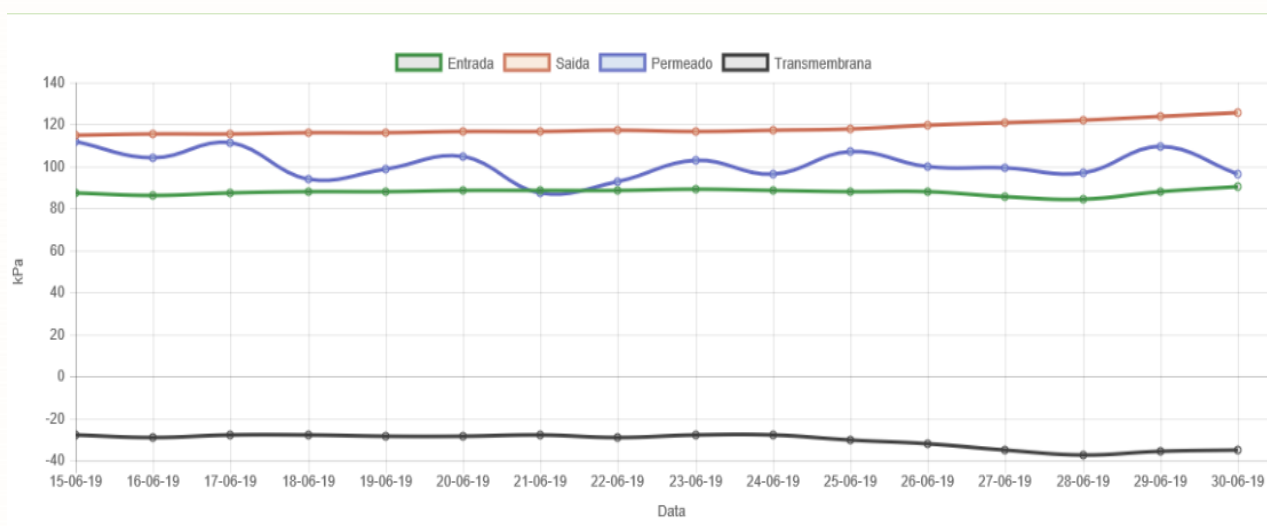
Vale salientar que não houve nenhuma retrolavagem no período de operação do biorreator, isso pode ter auxiliado no processo de acúmulo de resíduos entre as camadas



presentes no módulo de membrana, apontado por Xiong et al. (2019) como efeitos da incrustação fisicamente irremovível, a qual pode ocasionar impactos adversos ao comportamento natural de filtração da Membrana Dinâmica, acarretando, assim, no aumento da Pressão Transmembrana.

As análises experimentais foram conduzidas em duplicata, sem que houvesse nenhuma retrolavagem na membrana dinâmica. Após o período estabelecido, observou-se que o afluente que possuía uma turbidez em torno de 271,86 NTU passou a ter, após o sistema de tratamento de filtração por Membrana Dinâmica, uma turbidez em torno de 80,45 NTU, garantindo, assim, uma remoção de cerca de 70.4%.

Figura 2: Gráfico referente ao comportamento da PTM no Biorreator Anaeróbio de Membrana Dinâmica Submersa



Fonte: Autor (2019)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia de filtração por meio da Membrana Dinâmica se mostra bastante promissora para o tratamento de águas residuais domésticas. O processo mostrou retenção de matéria orgânica satisfatória, 70.4%, visto que em outros processos de filtração como é o caso da filtração por Micro e Ultrafiltração a retenção orgânica é entre 60-90% (JIN et al., 2017), porém para que seja feita sua realização se fazem necessárias várias medidas de pré-tratamento, módulos de membrana dispensiosos e de limpeza química constante para evitar as incrustações recorrentes desse processo. Além disso, por utilizarem uma via anaeróbia, o tamanho dos

biorreatores são menores, ocupando menor espaço. Por isso, do ponto de vista econômico, faz-se viável a utilização dessa tecnologia, que oferece parâmetros de qualidade similares por um custo de capital investido bem inferior.

## REFERÊNCIAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed. Washington, DC. 2012.

BEAL, L. L. **Tratamento anaeróbio de efluente de curtume de acabamento associado à membranas de micro e ultrafiltração**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2004.

BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993.

DERELI, R.K.; ERSAHIN, M.E.; OZGUN, H.; OZTURK, I.; JEISON, D.; VAN DER ZEE, F.; VAN LIER, J.B. Potentials of anaerobic membrane bioreactors to overcome treatment limitations induced by industrial wastewaters. **Bioresource Technology**, v. 122, out. 2012.

ERSAHIN, M. E., OZGUN, H., DERELI, R. K., OZTURK, I., ROEST, K., VAN LIER, J.B. A review on dynamic membrane filtration: materials, applications and future perspectives. **Bioresour. Technol.** 122, 196-206. 2012.

ERSAHIN, M. E. et al. Applicability of dynamic membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. **Water Research**, [s.l.], v. 48, jan. 2014.

JEONG, T. Y. et al. Characteristics of bio-fouling in a submerged MBR. **Desalination**, v. 207, n. 1-3, 2007.

JIN, Z. et al. Improved low-carbon-consuming fouling control in long-term membrane-based sewage pre-concentration: The role of enhanced coagulation process and air backflushing in sustainable sewage treatment. **Journal Of Membrane Science**, [s.l.], v. 529, p.252-262, maio 2017.

LENS, P. et al. **Water recycling and resource recovery in industry: analysis, technologies and implementation**. 1<sup>st</sup>. ed. London: IWA, 2002.

MENG, F. et al. Effect of hydraulic retention time on membrane fouling and biomass characteristics in submerged membrane bioreactors. **Bioprocess Biosyst. Eng.**, v. 30, 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment and reuse**. 4 th ed. Boston: McGraw-Hill, 2003.

PELEGRIN, D. C. **Microfiltração tangencial de efluente sanitário após tratamento biológico.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2004.

PEREBOOM, J. **Nieuwe anaerobe technieken,** Meer biogas voor bedrijven tegen lagere kosten. Veolia, 2013.

PROVENZI, G. **Biorreator à membrana submersa para tratamento biológico de efluentes: estudos hidrodinâmicos e físico-químicos no controle da colmatação.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005.

RADJENOVIC, J. et al. **Membrane bioreactor (MBR) as an advanced wastewater treatment technology.** In: Handbook Environmental Chemistry. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, v. 5, 2008.

SCHNEIDER, R. P. and TSUTIYA, M. T. **Membranas Filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso.** 1 ed. São Paulo: ABES, 2001.

VAN LIER, J.B.; VAN DER ZEE, F.P.; FRIJTERS, C.T.M.; ERSAHIN, M.E. Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 14, ago. 2015.

VIANA, P. Z. **Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2004.

WU, J. et al. Effects of relaxation and backwashing conditions on fouling in bioreactor. **Journal of Membrane Science**, v. 324, n. 1-2, 2008.

XIONG, J. et al. Applying a dynamic membrane filtration (DMF) process for domestic wastewater preconcentration: Organics recovery and bioenergy production potential analysis. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 680, p.35-43, ago. 2019.