

# UTILIZAÇÃO DE BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA DINÂMICA NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO VISANDO REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E TURBIDEZ

Juanne Nogueira Nascimento<sup>1</sup>  
José Raniery Rodrigues Cirne<sup>2</sup>  
André Luiz Muniz Brito<sup>3</sup>  
Wilton Silva Lopes<sup>4</sup>

## RESUMO

Recentemente, a tecnologia dos Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica tem sido uma abordagem adotada como uma alternativa promissora para resolver os problemas encontrados nos processos dos Biorreatores Anaeróbios de Membranas Convencionais, devido a fatores como baixo custo do módulo de membrana, menor custo de energia, e um controle mais fácil de incrustação. Este trabalho teve como objetivo estudar a utilização de um Biorreator Anaeróbio de Membrana Dinâmica (BRAnMD) em escala de bancada como alternativa para o tratamento de esgotos doméstico, avaliando a sua capacidade de remoção de matéria orgânica e turbidez. O estudo foi realizado usando um BRAnMD, composto por um digestor anaeróbio construído a partir de tubos e conexões de PVC, com volume útil de 6 L, equipado com um módulo de membrana externo. Uma malha de polietileno, com tamanho médio de poro de 89  $\mu\text{m}$  foi utilizado como material de suporte para formação da membrana dinâmica. Os resultados reportaram que, levando em consideração, o esquema operacional o biorreator anaeróbio de membrana dinâmica teve um bom desempenho de operação, e que a tecnologia do BRAnMD é bastante promissora para o tratamento de esgoto doméstico. O processo alcançou uma eficiência de remoção de turbidez de 54,8%, e uma remoção de matéria orgânica de 48,6%.

**Palavras-chave:** Membrana dinâmica, Biorreatores anaeróbios de membrana, Módulo de membrana externo.

## INTRODUÇÃO

Tendo em vista o recente interesse crescente no tratamento de águas residuárias utilizando tecnologias sustentáveis, o Biorreator Anaeróbio de Membrana Dinâmica surge como uma alternativa de processo que possibilita tal tratamento, além de ser uma abordagem promissora para resolver os problemas encontrados no processo dos Biorreatores Anaeróbios de Membranas Convencionais.

<sup>1</sup> Mestranda do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [juanne.nogueira@gmail.com](mailto:juanne.nogueira@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutorando do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [raniery\\_rodrigues@hotmail.com](mailto:raniery_rodrigues@hotmail.com);

<sup>3</sup> Graduando do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [andrebruito@gmail.com](mailto:andrebruito@gmail.com);

<sup>4</sup> Professor orientador: doutor, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, [wiltonuepb@gmail.com](mailto:wiltonuepb@gmail.com).

O Biorreator Anaeróbio de Membrana (BRAnM), pode ser definido como um processo de tratamento biológico de águas residuais que possui uma membrana filtrante para realizar a separação sólido – líquido de efluente tratado. A membrana garante a retenção dos microrganismos dentro do reator, propicia a geração de um efluente consistentemente de boa qualidade no que se refere ao teor de sólidos suspensos e turbidez, como também, dependendo do tipo de membrana, contribui para a remoção de sólidos dissolvidos.

Mas, o custo das membranas convencionais (Micro/UltraFiltração), fenômenos de incrustação e baixo fluxo tem representado as principais desvantagens desse processo. Conseqüentemente, tecnologia de Membrana Dinâmica (MD), tem sido recentemente proposta como uma alternativa ao uso das membranas convencionais, pois a filtração dinâmica tem menor risco de incrustação, requer menos energia e menores custos de material de filtro, alcançando uma eficiência de tratamento equivalente aos BRAnMs (Ersahin et al., 2012).

Membrana Dinâmica (MD) é uma camada de torta ou biofilme obtido através do depósito de substâncias orgânicas e bactérias presentes no reator sobre uma malha ou um pano de filtro, aplicados como material de suporte para formação da MD. Esta camada torna-se mais densa ao longo do tempo e tem capacidade de filtrar vários poluentes e patógenos. (Smith et al., 2013; Ersahin et al., 2017). A membrana dinâmica pode ser facilmente removida da superfície do material de suporte e pode ser restabelecida novamente em curto espaço de tempo.

Este trabalho se propôs a estudar a utilização de um Biorreator Anaeróbio de Membrana Dinâmica (BRAnMD) em escala de bancada como alternativa para o tratamento de esgotos doméstico, avaliando a sua capacidade de remoção de matéria orgânica e turbidez.

## **METODOLOGIA**

Um Biorreator Anaeróbio de Membrana Dinâmica (BRAnMD) foi construído para realização do presente estudo e foi operado na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), situada na cidade de Campina Grande - Paraíba, local pertence a UEPB.

O estudo foi realizado usando um BRAnMD, composto por um digestor anaeróbio construído a partir de tubos e conexões de PVC, com volume útil de 6 L, equipado com um módulo de membrana externo (Figura 1).

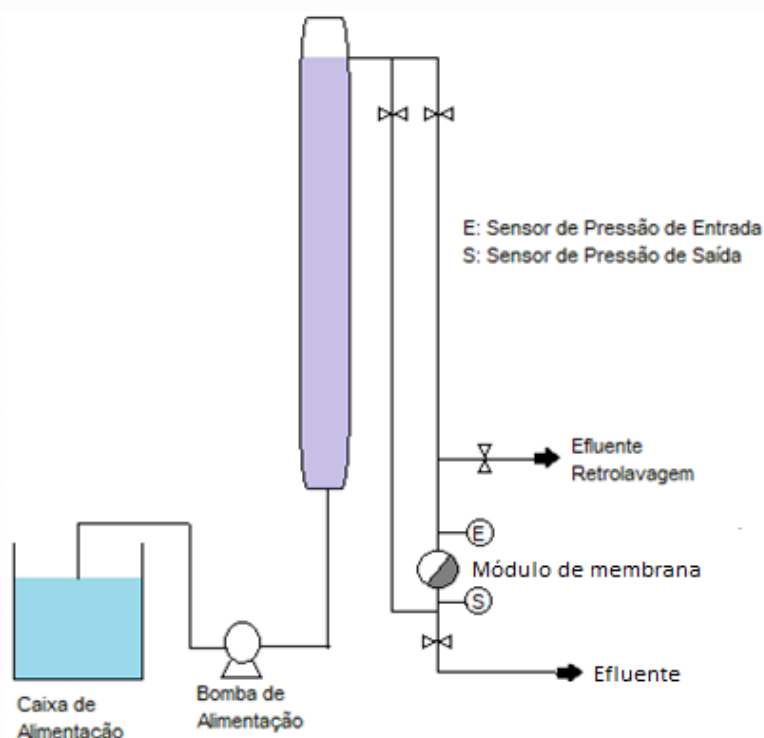
O módulo de membrana, por sua vez, é composto por uma estrutura de PVC e apresenta configuração externa com diâmetro de 6,2 cm. No seu interior encontra-se uma malha de polietileno, com tamanho médio de poro de 89  $\mu\text{m}$  sendo utilizado como material de suporte para formação da membrana dinâmica, e uma grade metálica, abaixo da malha de polietileno, para oferecer maior resistência ao mesmo enquanto submetido a elevados gradientes de pressão.

A alimentação é proveniente do esgoto doméstico das instalações prediais localizadas a 200 metros de distância da estação, é contínua de fluxo ascendente e fornecida por uma bomba peristáltica BP-200D (MS TecnoPON). Por diferença de pressão hidráulica, o efluente é coletado.

A pressão transmembrana foi medida por dois sensores de pressão, que estavam instalados antes do módulo de membrana e na linha do permeado. Os sensores nos forneceram medidas diárias em tempo real, permitindo acompanhar o desempenho do biorreator.

Na figura 1 pode ser visualizado o esquema do sistema experimental que foi operado.

Figura 1: Esquema do sistema experimental que foi operado



Fonte: Autor (2019)

O sistema operou por um período de 100 dias, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 horas, tempo de retenção celular (TRC) de 120 dias, a uma vazão de  $0,72 \text{ L.h}^{-1}$ .

Inicialmente para aclimação do reator, foi utilizado um inóculo de lodo anaeróbio na proporção de 1:1, mistura que facilitou a adaptação da biomassa microbiana do sistema para receber o esgoto doméstico.

Para avaliar o desempenho do biorreator, os parâmetros DQO e turbidez foram medidos semanalmente e em duplicata, de acordo com o processo metodológico do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

## DESENVOLVIMENTO

### *Biorreatores Anaeróbios de Membrana*

Entre os processos de separação por membranas, uma tecnologia que vem sendo bastante estudada recentemente é a utilização de Biorreatores Anaeróbios de Membrana (BRAnMs) para o tratamento de esgoto. Estes podem ser definidos como um processo de tratamento biológico de água residual, operados sem oxigênio e que possuem uma membrana filtrante para realizar a separação sólido-líquido de efluente tratado.

BRAnM tem sido considerado uma tecnologia promissora para o tratamento convencional de água residual municipal por dissociar o tempo de detenção hidráulico do tempo de detenção de sólidos, o qual permite a manutenção de altas concentrações de lodo e diminuição do tamanho do reator.

Além disso, trabalhos anteriores indicam que BRAnM pode produzir efluentes de alta qualidade até em condições extremas, incluindo água residual de baixa resistência, baixas temperaturas ( $<20^{\circ}\text{C}$ ), alta salinidade, e baixo tempo de detenção hidráulico (2-8h). Tal eficiência se deve, em grande parte, à retenção de sólidos suspensos, coloidais, e parte de substâncias solúveis pelas membranas de micro/ultrafiltração (Liao et al, 2006; Lin et al, 2013). Contudo, esses reatores ainda não são aplicados tão amplamente quanto devem ser devido a problemas severos de incrustação das membranas, baixo fluxo de filtração, e altos custos da membrana (Ahmar Siddiqui et al, 2018).

Recentemente, tecnologia de filtração de membrana dinâmica (MD), a qual usa malhas de poros grosseiros (10 -200  $\mu\text{m}$ ) como material de suporte para formação da camada de torta, tem sido adotada como uma alternativa para substituir as membranas de Micro/Ultrafiltração convencionais em biorreatores de membrana dinâmica (BRMD) e tem

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

alcançado excelente separação sólido-líquido durante a filtração de sólidos suspensos (ERSAHIN et al, 2012; HU et al, 2018). Hu et al. (2018) afirma que o BRAnMD tem performance similar ao BRAnM convencional, mas tem um menor custo de membrana e resistência de filtração, e assim, conseqüentemente, um menor custo de energia, e um controle mais fácil de incrustação.

### *Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica*

A tecnologia da Membrana Dinâmica (MD) tem sido uma abordagem adotada como uma alternativa promissora para resolver os problemas encontrados nos processos de BRM (FAN e HUANG, 2002, WU et al., 2008).

Membrana Dinâmica (MD), também conhecida como membrana secundária, é uma camada de biofilme formada no material de suporte subjacente (uma membrana, malha, ou pano de filtro), quando a solução filtrada contém partículas sólidas suspensas, tal como células microbianas e flocos (ERSAHIN et al, 2012). Estas partículas se anexam aos macroporos do material de suporte e criam uma camada (membrana), que aprisiona os contaminantes e age como um meio de rejeição. Em outras palavras, a principal desvantagem da membrana convencional (a camada incrustante) é o que agora determina as propriedades de rejeição do sistema, que é o realmente desejado (CHU et al, 2014).

Esta tecnologia tem atraído atenção por seu relativo baixo custo, baixo consumo de energia e fácil limpeza. As principais vantagens da MD são a baixa resistência à filtração e baixa pressão transmembrana (PTM). Todo o processo de filtração pode ser operado sob gravidade, sem bombas. Estas características destacam o potencial da tecnologia MD no tratamento de água residual, a qual ainda requer inovação com respeito ao tratamento eficiente e consumo de energia (LI et al, 2018).

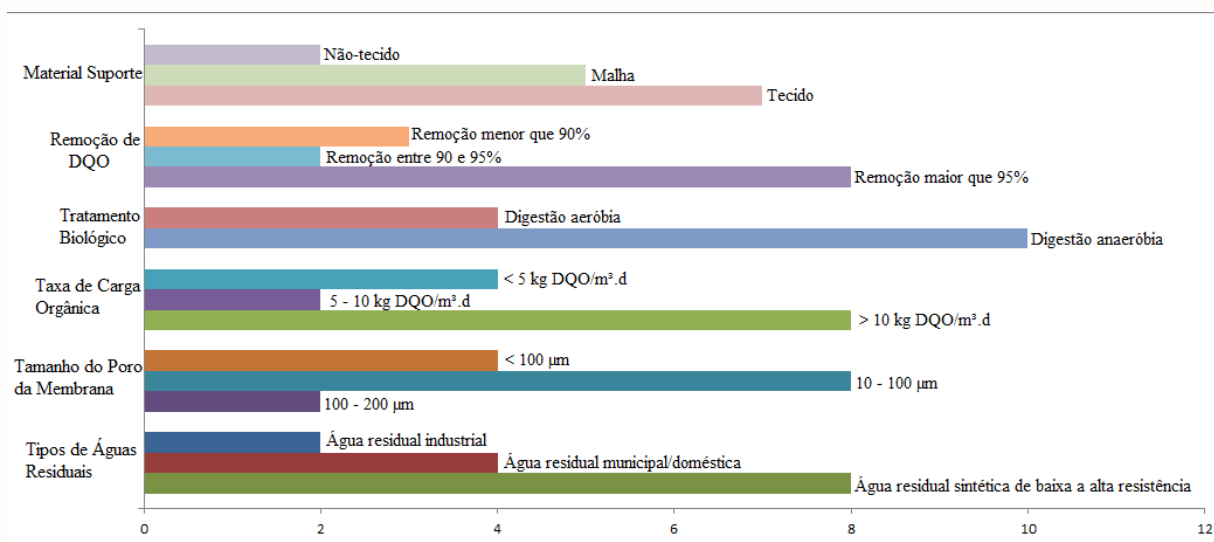
Além disso, esta membrana reduz a propensão à incrustação do material de suporte subjacente, de modo que a substituição dos módulos não seja mais necessária. Caso a membrana secundária induza um aumento excessivo na pressão transmembrana (PTM), esta camada pode ser facilmente desfeita e rapidamente reformada (MA et al, 2013; ERSAHIN et al, 2012; ZHANG et al, 2010).

A Figura 2 apresenta os números de estudos relacionados à tecnologia de membrana dinâmica, com foco em material de suporte de baixo custo, no período de 2013 até 2017. Estes estudos foram escolhidos, baseados nos estudos gerais da tecnologia de MD, no Science Direct e no banco de dados de outros jornais usando nas pesquisas palavras chaves populares.



Estas análises estatísticas mostram grande interesse entre os pesquisadores pelo uso de material de suporte com tamanho de poros maiores, sendo o mais relatado o tamanho de poro de 10 - 100 $\mu$ m, e pelo filtro de tecido, que foi o mais investigado como material de suporte. Nesses estudos anteriores, foi utilizado em maior número águas residuais de alta resistência como meio de alimentação, tornando o tratamento de biodigestão anaeróbica mais favorável que o de digestão aeróbica. A maioria dos estudos atingiu uma taxa de remoção de DQO maior que 95% em ambos os sistemas (BRMDs e BRAnMDs).

Figura 2: Número de estudos relacionados à tecnologia dinâmica com foco em material de suporte de baixo custo.



Fonte: Adaptado de Mahat (2018).

A literatura mostra que a aplicação de Biorreator Anaeróbico de Membrana Dinâmica (BRAnMD) ainda está em seus estágios iniciais, e que o foco das atuais áreas de pesquisa são: a viabilidade e o desempenho no tratamento de várias águas residuais, fatores de influência, otimização do módulo de membrana e caracterização das propriedades do lodo a granel e da camada MD (AN et al., 2009; ERSAHIN et al., 2017).

Os resultados reportados recentemente indicam que o BRAnMD pode fornecer uma taxa de remoção de DQO e SS de 60 – 90%, e taxas de remoção de turbidez de 90 a 100% (ERSAHIN et al., 2014; ALIBARDI et al., 2016). Além disso, observou-se que, assim como em ambientes anaeróbios existe o baixo efeito de remoção biológica de nutrientes, o BRAnMD também resultou pobre desempenho de remoção de nutrientes, pois os dados mostram que todas as taxas de remoção de nutriente foram inferiores a 30% (HU et al., 2017).

O desenvolvimento da pesquisa contém a revisão bibliográfica, as principais discussões teóricas e a trajetória da mesma ao longo do recorte estudado.

### *Configuração do Módulo de Membrana*

A classificação dos sistemas de biorreatores de membrana é realizada de acordo com sua configuração e modo de operação, de tal modo que, basicamente, se encontram distribuídos em dois grupos: i) módulo de membrana submerso no biorreator; e ii) módulo de membranas externos ao biorreator (RADJENOVIC et al., 2008).

No caso do módulo de membrana submerso no biorreator as membranas são sujeitas a um vácuo, no lado do permeado, proporcionando a permeação da solução através da membrana, enquanto que os sólidos são retidos no biorreator (METCALF & EDDY, 2016).

O módulo de membrana externo é acoplado externamente ao biorreator. Nessa configuração, é empregada a pressão positiva como força motriz para o processo de filtração, que separa a vazão afluyente em duas linhas distintas: a do permeado, referente à parcela filtrada pelas membranas; e a linha do concentrado, contendo os sólidos retidos pela membrana, que retorna para o biorreator.

Os Biorreatores de modulo externo tem como sua principal desvantagem o alto consumo de energia, quando comparado aos de módulo submerso, devido à necessidade de uma elevada velocidade tangencial. Segundo Scheneider & Tsutiya (2001), o elevado consumo de energia restringe 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.

### *Materiais Utilizados Como Material de Suporte Para Desenvolvimento da MD*

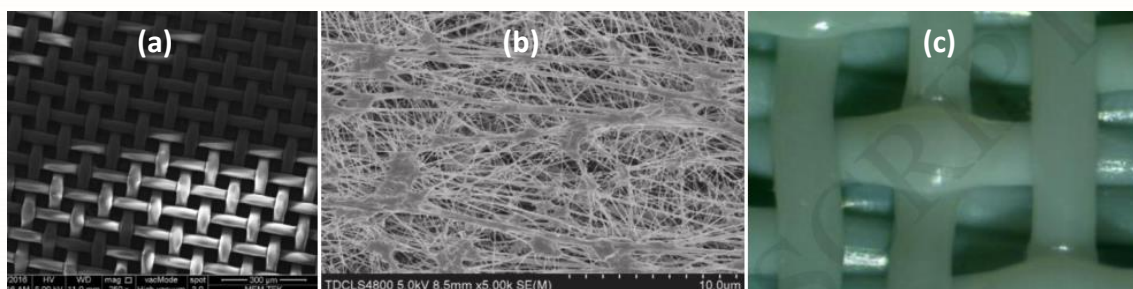
Um dos principais focos das pesquisas sobre MD é uso de malhas, tecidos e tecidos não-tecidos como material de suporte para formação da camada de torta, pois a seleção adequada deste material é um passo crítico para aplicação da tecnologia de MD.

Segundo Ersahin et al. (2012), o filtro de malha consiste de uma barreira permeável feita de fios conectados de metal, fibra ou outro material flexível/dúctil. Enquanto que a estrutura do não-tecido é como uma teia de fibras ou filamentos naturais/ou artificiais, excluindo o papel, que não foram convertidos em fios e que estão conectados internamente. Já o tecido, é baseado em fio monofilamento ou multifilamento. Os fios monofilamentos são

filamentos sintéticos extrudidos simples e tem superfícies lisas. Uma fibra multifilamento consiste em várias fibras finas de monofilamento, que são unidas para formar os fios individuais que são eventualmente entrelaçados. Os estudos comprovam que malhas tem menor resistência à filtração, mas acúmulo de lodo ineficiente devido a sua estrutura plana (KISO et al., 2005). Até agora, as malhas, tecidos não-tecido e tecidos foram relatados como possíveis materiais de suporte para a separação sólidos-liquido tanto nos BRMD aeróbios como nos anaeróbios.

Imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) do filtro de malha, tecido não-tecido e tecido de fio monofilamento são mostrados na figura 3 abaixo.

Figura 3(a): Imagem do MEV da camada de suporte limpa de filtro de malha; (b): Imagem do MEV da superfície da membrana de tecido não-tecido sem uso; (c): Imagem do MEV da superfície limpa do tecido de fio monofilamento



Fonte: Adaptado de Mahat (2018).

O material de suporte deve ter um tamanho de poro apropriado para formar e reter o material formador da membrana na sua superfície, deve ser forte o suficiente para resistir as pressões aplicadas e deve ter baixo custo.

A relação entre o tamanho do poro do material de suporte e o tamanho da partícula do material formador da MD devem ser avaliados em conjunto para se obter o melhor desempenho de separação, pois o tamanho do poro afeta a taxa de formação da camada dinâmica e o fluxo do permeado. Kiso et al. (2000) investigaram as propriedades de filtração e a qualidade do efluente usando a malha como material de suporte em diferentes tamanhos de poros (100, 200 e 500  $\mu\text{m}$ ). Eles relataram que as malhas com um tamanho de poro de 100  $\mu\text{m}$  proporcionaram os melhores resultados em termos de qualidade do efluente e efetivamente rejeitaram flocos de lodo ativado.

Kiso et al (2005) também afirmou que, nos filtros de tecido não-tecido o acúmulo de lodo devido a penetração e ao aprisionamento das partículas mais finas deve ser sempre

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br



levado em consideração nas operações a longo prazo, pois uma vez que aprisionado na matriz de fibras, é difícil remover as partículas do filtro, aumentando subsequentemente a resistência da membrana.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho do sistema operado foi monitorado através das análises de DQO e turbidez e dados da PTM. Para as análises, foram coletadas amostras do efluente e da alimentação provenientes do BRAnMD. As análises foram realizadas em duplicatas e semanalmente. O sistema operou durante 90 dias, compreendendo o período de 3 meses, e nenhuma retrolavagem foi realizada na membrana dinâmica.

A PTM foi acompanhada para uma melhor compreensão sobre o mecanismo de formação da camada dinâmica, bem como para ter uma melhor informação do processo de filtração realizado por essa camada. Os resultados reportaram que, durante o primeiro mês de operação a média mensal da PTM foi de 24,9 kPa, a média mensal do segundo mês foi de 18,3 kPa e que média mensal do terceiro mês foi de 11,8 kPa. Podemos observar que durante o primeiro mês, devido ao maior valor da PTM, se deu a formação da membrana dinâmica. Nesse momento, o fluxo afluente que o módulo de membrana recebia era maior e ocorria o aumento das partículas sobre o material de suporte. A medida que a camada dinâmica estava formada e estabilizada e o fluxo afluente não foi aumentado, observa-se a diminuição dos valores da PTM. Segundo Li et al. (2018), um aumento no fluxo afluente e na concentração de partículas afluente correspondem com aumento da PTM.

Pode-se observar uma eficiência média de remoção de turbidez de 54,8%, no qual o afluente que possuía uma turbidez média de 347,1 NTU, após o sistema de tratamento, o efluente alcançou uma turbidez média de 132,7 NTU. Foi alcançada uma eficiência de remoção de DQO de 48,6%, com concentrações médias no esgoto bruto e efluente de 955,1  $mg\ DQOL^{-1}$  e 438,9  $mg\ DQOL^{-1}$ , respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração, o esquema operacional o biorreator anaeróbio de membrana dinâmica teve um bom desempenho de operação, e os resultados demonstram que a tecnologia do BRAnMD é bastante promissora para o tratamento de esgoto doméstico. O

processo alcançou uma eficiência de remoção de turbidez de 54,8%, e uma remoção de matéria orgânica de 48,6%.

O efluente foi extraído por diferença de pressão hidráulica, não utilizando uma bomba para efetuar tal operação. A utilização de uma bomba para extração do efluente poderia melhorar a qualidade o efluente, como também da formação da membrana dinâmica, devido ao aumento que ocasionaria na pressão transmembrana. Porém, os custos de operação aumentariam. Desta forma, o efluente apresenta valores dentro do esperado, de acordo, tanto pelo tempo de operação como pelo esquema operacional proposto.

## REFERÊNCIAS

AHMAR SIDDIQUI, M.; DAI, J.; GUAN, D.; CHEN, G. Exploration of the Formation of Selfforming Dynamic Membrane in An Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, **Separation and Purification Technology**, 2018.

ALIBARDI, L. et al. Anaerobic dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment at ambient temperature. **Chemical Engineering Journal**, v. 284, p. 130–138, 2016.

AN, Y.; WANG, Z.; WU, Z.; YANG, D.; & ZHOU, Q.; Characterization of membrane foulants in an anaerobic non-woven fabric membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 155, p. 709–715, 2009.

CHU, H. et al. Dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment : Operation , critical flux , and dynamic membrane structure. **Journal of Membrane Science**, v. 450, p. 265–271, 2014.

ERSAHIN, M. E. et al. A review on dynamic membrane filtration: Materials, applications and future perspectives. **Bioresource Technology**, v. 122, p. 196–206, 2012.

ERSAHIN, M. E.; OZGUN, H.; TAO, Y.. van LIER, J. B. Applicability of dynamics membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. **Water Res.**, v. 48, p. 420–429, 2014.

ERSAHIN, M. E. et al. Impact of anaerobic dynamic membrane bioreactor configuration on treatment and filterability performance. **Journal Of Membrane Science**, v. 526, p.387-394, 2017.

FAN, B.; HUANG, X. Characteristics of a self-forming dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment. **Environmental Science and Technology**, v. 36(23), p. 5245–5251, 2002.

HU, Y. et al. Bioresource Technology Anaerobic dynamic membrane bioreactor ( AnDMBR ) for wastewater treatment : A review. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1107–1118, 2018.

HU, Y.; WANG, X. C.; HAO NGO, H.; SUN, Q.; YANG, Y. Anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for wastewater treatment: A review, **Bioresource Technology**, v. 235, p 345-54, 2017.

KISO, Y.; JUNG, Y. J.; ICHINARI, T.; PARK, M.; KITAO, T.; NISHIMURA, K.; MIN, K.S. Wastewater treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a mesh as a filter material. **Water Res.**, v.17, p. 4143–4150, 2000.

KISO, Y.; JUNG, Y. J.; MIN, K. S.; WANG, W.; SIMASE, M.; YAMADA, T.; MIN, K. S. Coupling of sequencing batch reactor and mesh filtration: operational parameters and wastewater treatment performance. **Water Res.**, v. 39, p. 4887–4898, 2005.

LI, L. et al. Dynamic membrane for micro-particle removal in wastewater treatment: Performance and influencing factors. **Science of the Total Environment**, v. 627, p. 332–340, 2018.

LIAO, B. Q.; Kraemer, J. T.; Bagley, D. M. Anaerobic membrane bioreactors: applications and research directions. **Crit. Rev. Env. Sci. Technol.**, v. 36 (6), p. 489-530, 2006.

LIN, H.; PENG, W.; ZHANG, M.; CHEN, J.; HONG, H.; & ZHANG, Y. A review on anaerobic membrane bioreactors: Applications, membrane fouling and future perspectives. **Desalination**, v. 314, p. 169–188, 2013.

MA, J.; WANG, Z.; XU, Y.; WANG, Q.; WU, Z.; Grasmick, A. Organic matter recovery from municipal wastewater by using dynamic membrane separation process, **Chem. Eng. J.**, v. 219, p. 190–199, 2013.

MAHAT, S. B; OMAR, R.; IDRIS, A.; KAMAL, S. M. M.; IDRIS, A. I. M. Dynamic membrane applications in anaerobic and aerobic digestion for industrial wastewater: A mini review, **Food and Bioproducts Processing**, v. 112, p. 150 – 168, 2018.

METCALF & EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed., Porto Alegre: AMGH, 2016.

RADJENOVIC, J. et al. Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology. **Environmental Chemistry**, v. 5, p. 37–101, 2008.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. **ABES**, 2001.

SMITH, A. L.; SKERLOS, S. J.; RASKIN, L. Psychrophilic anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater. **Water Res.**, v. 47 (4), p. 1655-1665, 2013.

WU, J. et al. Effects of relaxation and backwashing conditions on fouling in bioreactor. **Journal of Membrane Science**, v. 324, p. 26-32, 2008.

ZHANG, X.; WANG, Z.; WU, Z.; LU, F.; TONG, J.; ZANG, L. Formation of dynamic membrane in an anaerobic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment, **Chem. Eng. J.**, v. 165, p. 175–183, 2010.