

Eixo Temático ET-02-010 - Saneamento Ambiental

BIORREADORES ANAERÓBIOS DE MEMBRANAS: REVISÃO

Ysa Helena Diniz Morais de Luna¹; Fernanda Patricio do Monte²; Wilza da Silva Lopes²

¹Universidade Estadual da Paraíba, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Paraíba. Email: ysa_luna@outlook.com.

²Universidade Estadual da Paraíba, Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Doutorado em Engenharia Ambiental. Paraíba.

RESUMO

O interesse em aumentar a sustentabilidade da gestão da água está conduzindo uma reavaliação das Tecnologias de Tratamento de Águas Residuárias. Um objetivo central é reduzir as demandas de energia enquanto recupera recursos. Os biorreatores de membrana anaeróbia (AnMBRs) têm a capacidade de produzir um efluente de qualidade semelhante ao tratamento aeróbio, ao mesmo tempo que gera energia útil e produz substancialmente menos resíduos. No entanto, os biorreatores apresentam problemas com as incrustações que ocorrem nas membranas devido à formação da camada de torta (membrana dinâmica) que pode ser utilizada, de modo benéfico, como um filtro graças a sua capacidade de rejeição, substituindo as membranas de filtração usuais (microfiltração e ultrafiltração) barateando o uso dessa tecnologia avançada.

Palavras-chave: Águas residuárias; Biorreatores de membrana; Digestão anaeróbia; Incrustações; Membrana dinâmica.

INTRODUÇÃO

Os lodos resultantes dos processos e operações das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) encontram-se normalmente na forma semissólida e são compostos na sua maior parte de água, matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes, além de microrganismos patogênicos, metais pesados e micropoluentes persistentes. Também contêm de 0,25% a 12% de sólidos por peso, dependendo da operação e do processo utilizado na ETE (METCALF e EDDY, 2003).

De forma geral, diversas alternativas têm sido buscadas para a disposição e aproveitamento do lodo, entre elas encontram-se a disposição em aterros sanitários e oceanos, incineração (com recuperação ou não de energia), utilização como fertilizante e condicionador de solo, ou, pode até mesmo ser aproveitado como matéria-prima para a produção de tijolos, agregado leve, cimento e material de cobertura diária e final de aterros sanitários. No entanto, muitos desses métodos de aproveitamento e/ou disposição só promovem a transferência da poluição de um local para o outro, além de serem muito dispendiosos.

Recentemente surgiu o interesse em se investigar novas alternativas de tratamento do lodo de esgoto que busquem não só a sua estabilização e produção de energia, mas também o aproveitamento dos materiais presentes no lodo, como por

exemplo, os nutrientes e os metais que agregam valor a esse resíduo. Dentre as Tecnologias Avançadas de Tratamento de Águas Residuárias encontram-se os Biorreatores Anaeróbios de Membrana.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo oferecer uma visão geral da Tecnologia Avançada de Tratamento de Águas Residuárias por biorreatores anaeróbios de membrana, tendo como foco o início histórico da sua utilização, definição do processo, o porquê da sua escolha no lugar das tecnologias usuais de tratamento, detalhes de suas configurações experimentais, problemas encontrados na sua aplicação e o uso de membrana dinâmica nesse tipo de tecnologia.

BIORREATOR ANAERÓBIO DE MEMBRANA

Segundo Lin et al. (2013) o conceito de biorreator anaeróbio de membrana (AnMBR) parece ter sido inicialmente relatado por Grethlein em 1978, que usou membrana externa de fluxo tangencial para tratar efluentes de tanques sépticos. Com três décadas de desenvolvimento as vantagens do sistema AnMBR foram comprovadas na literatura. Reconhecido o valor do AnMBRs tanto o setor privado quanto o governamental realizaram investimentos consideráveis para promover os sistemas AnMBRs. Até a década de 1990, os sistemas AnMBRs disponíveis comercialmente eram em sua maioria de configuração externa. A partir do sucesso de biorreatores de membrana (MBR) aeróbios submersos, no início dos anos 2000, houve um grande incentivo na exploração de AnMBRs submersos para o tratamento de águas residuárias. Também nos anos 2000, os estudos de AnMBRs focaram no desempenho do sistema, nas características de filtração, na caracterização do fouling e o controle do fouling na membrana. Skouteris et al. (2012) relatam que embora os MBRs sejam aplicados principalmente em condições aeróbias, MBRs anaeróbios têm recebido grande atenção.

Os AnMBRs combinam digestão anaeróbia com o processo de separação por membrana e, têm sido utilizados no tratamento de resíduos orgânicos e águas residuárias a fim de melhorar a qualidade do efluente e produzir metano (DHAR et al., 2013).

A integração do processo de membranas com biorreatores anaeróbios tem o potencial de reduzir substancialmente o volume do biorreator por facilitar a separação entre o tempo de detenção hidráulica (TDH) e o tempo de retenção celular (TRC). A operação de AnMBRs ocorre com TDHs relativamente mais curtos e longos TRCs, ou seja, a biomassa no biorreator é retida por mais tempo que o lodo o que pode levar à redução do volume do biorreator, enquanto alcança altas taxas de digestão e melhora o desempenho do sistema (DAGNEW et al., 2012).

O processo de biorreator anaeróbio de membrana tem atraído grande interesse nos últimos anos, devido à geração de efluente de alta qualidade, pequeno espaço requerido, alta atividade metabólica, baixa produção de lodo de excesso, recuperação de energia, operação em condições ambientais desfavoráveis (alta salinidade, altas temperaturas, altas concentrações de SS, etc.) e forte capacidade de resistir à choques de carga (DERELI et al., 2012; HO e SUNG, 2010; WEI et al., 2011). Entretanto, ao AnMBR está associado um alto consumo de energia, devido as bombas de alta pressão

que são utilizadas para a filtração e os problemas de fouling das membranas (CHEN et al., 2014).

Configuração das membranas

Os sistemas de AnMBR são essencialmente implementados baseados em duas configurações: configuração externa, com a membrana externa ao biorreator, ou configuração submersa com a membrana disposta no interior do biorreator.

Na configuração externa ou de fluxo tangencial, a unidade da membrana é separada do biorreator e as membranas são operadas sobre pressão para produzir o permeado. A biomassa anaeróbia suspensa mantida no biorreator é bombeada para dentro da unidade de membrana criando uma pressão positiva que leva a produção do permeado. A biomassa retida é retornada ao biorreator (SMITH et al., 2013).

A principal vantagem da configuração externa é o fato do contato da membrana com os sólidos serem minimizados. Isto acontece devido à velocidade tangencial ao módulo que promove a turbulência necessária, próxima à membrana, para evitar a deposição das partículas sólidas sobre a superfície da membrana conseguindo reduzir os efeitos do fouling. De forma geral, a configuração externa promove um maior controle hidrodinâmico do fouling, e oferece as vantagens de fácil substituição da membrana e elevados fluxos, ou seja, apresenta uma maior flexibilidade operacional (LE-CLECHE et al., 2006).

Embora a configuração externa seja simples, estável e de fácil operação, apresenta um alto consumo energético para manter a diferença de pressão necessária à permeação, assim como para fornecer velocidade à suspensão. O alto cisalhamento produzido na recirculação da suspensão pode, por sua vez, provocar a liberação de macromoléculas do interior da célula para a solução, aumentando os compostos que podem ser adsorvidos pelos poros das membranas, reduzindo o fluxo (HU & STUCKEY, 2006). Por outro lado, o alto cisalhamento pode ter um efeito positivo sobre o fouling na membrana por seguir o mesmo princípio utilizado no borbulhamento de gás empregado na limpeza de membranas (SKOUTERIS et al., 2012).

De forma geral, estudos com AnMBRs utilizam módulos de membranas de configuração externa e tubulares. Os módulos de membranas nesta configuração são compostos por várias membranas tubulares dispostas como tubos. As principais vantagens incluem baixas incrustações, limpeza relativamente fácil, simples manuseio dos sólidos em suspensão e de líquidos viscosos, bem como na facilidade de substituir uma membrana danificada (TORRES et al., 2011).

Na configuração de membranas submersas o módulo de filtração é inserido no interior do reator o que elimina a necessidade de recirculação do sólido retido demandando menor quantidade de energia. O permeado é obtido através da sucção do conteúdo do reator que atravessa as paredes da membrana. Esta diferença de pressão que promove a separação entre o concentrado e o permeado pode ser provocada pela coluna de líquido no interior do reator e/ou aplicando-se vácuo (SMITH et al., 2012). Em geral, o fluxo de permeado não atinge valores muito altos devido à pressão transmembrana ser limitada nesta configuração e, ao fato, dos mecanismos de limpeza não serem tão eficientes o que requer maiores áreas de membrana (SMITH et al., 2013).

Os sistemas com membranas submersas utilizam, em geral, membranas tipo fibra oca ou placa plana. Enquanto as membranas em placa plana são instaladas verticalmente, as fibras ocas podem ser instaladas vertical ou horizontalmente (GIMENEZ et al., 2012).

Ambas as configurações, externa ou submersa, são eficientes e a opção entre uma e outra, dependerá de diversos fatores, como objetivo do uso, meta a ser alcançada, disponibilidade de espaço físico, consumo de energia, etc.

Os materiais das membranas podem ser agrupados em três grandes categorias: poliméricos, metálicos e inorgânicos (cerâmicas). As membranas cerâmicas foram muito utilizadas nos primeiros estudos sobre AnMBRs por apresentarem alta resistência à corrosão, abrasão e incrustações. Enquanto isso, as membranas metálicas também têm sido utilizadas em AnMBRs apresentando um melhor desempenho hidráulico, melhor recuperação de incrustações, maior tolerância à oxidação e à altas temperaturas do que as membranas poliméricas. No entanto, as membranas inorgânicas e metálicas são muito mais caras quando comparadas com as poliméricas. Como a economia dos sistemas AnMBRs tornou-se gradualmente uma grande preocupação, as membranas poliméricas se tornaram mais interessantes na comunidade científica e nas aplicações comerciais nos últimos anos. Os materiais das membranas poliméricas podem ser de difluoreto de polivinilideno (PVDF) e polietersulfona (PES), polietileno (PE), polipropileno (PP) e polissulfona (PSF) (LIN et al., 2013).

Problemas de incrustações nas membranas

Embora os AnMBRs ofereçam muitas vantagens, a incrustação na membrana é um dos principais gargalos para a sua aplicação. A incrustação na membrana pode ser definida como a restrição, oclusão ou bloqueio dos poros das membranas através da deposição de partículas orgânicas e inorgânicas que resulta no aumento da resistência à filtração e, conseqüentemente, na redução do fluxo do permeado (MARTINEZ-SOSA et al., 2012). A incrustação implica também em limpezas mais frequentes das membranas o que pode vir a reduzir o seu tempo de vida, resultando em maiores custos devido à substituição das membranas e no aumento da necessidade de energia para a recirculação (DERELI et al., 2012).

A incrustação na membrana é um processo de múltiplas variáveis que é afetado pelo material e tamanho do poro da membrana, modo de operação, características do lodo e condições operacionais como pressão, temperatura, fluxo da membrana, tempo de detenção hidráulica, idade do lodo (LIU et al., 2012; OZGUN et al., 2013).

A incrustação na membrana também pode ser classificada como biológica, orgânica ou inorgânica dependendo dos componentes responsáveis pela incrustação (WANG et al., 2014).

Para Meabe et al., (2013) a incrustação biológica é formada devido à deposição e crescimento de microrganismos sobre a superfície da membrana. O bioincrustação inclui também a acumulação e adsorção de substâncias extracelulares poliméricas (EPS) e produtos microbianos solúveis (SMP) sobre a membrana e superfície dos poros. Os EPS são geralmente definidos como material polimérico ligado à superfície celular que são extraídos por diferentes métodos físicos e químicos. E o SMP é definido como os produtos microbianos liberados em grandes quantidades para a solução como resultado da lise celular, da hidrólise de EPS, assim como, da interação dos microrganismos com o ambiente (WANG et al., 2014). Segundo Pretel et al. (2013) os SMPs são facilmente absorvidos pela superfície da membrana, bloqueando os poros e reduzindo a permeabilidade da membrana, além de influenciarem na estrutura e porosidade da camada de torta formada sobre a superfície da membrana.

A incrustação orgânica é causada pela deposição de proteínas, polissacarídeos, ácidos húmicos e outras substâncias orgânicas originadas do lodo ou da secreção

microbiana. Liu et al., (2012) relatou que o maior teor significativo de orgânicos no sobrenadante de AnMBRs acreditava-se ser de materiais biopoliméricos, os quais podem atuar como uma “cola” facilitando a formação da camada de torta. De forma geral, acredita-se que EPS e SMP são os constituintes mais importantes na contribuição da incrustação orgânica, até mais que os próprios microrganismos (LIU et al., 2012).

Quanto a incrustação inorgânica, a estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) surgiu como um dos principais incrustantes inorgânicos identificados em sistemas AnMBRs. Outros incrustantes inorgânicos conhecidos são o $K_2NH_4PO_4$ e carbonato de cálcio ($CaCO_3$) (KANG et al., 2002). A precipitação de incrustantes inorgânicos depende muito da presença de cátions no efluente e da suspensão do lodo, que dá origem aos elementos inorgânicos da camada de torta (SEIDEL e ELIMELECH, 2002). A interação de materiais biopoliméricos e os elementos Mg, Al, Ca, Si, e Fe, apresentam impactos significativos na formação e compactação da camada de torta (STUCKEY, 2012).

Kang et al. (2002) afirma que considerando a concentração relativamente alta de carbonato e bicarbonato, e a produção de altas concentrações de amônia e fosfato na digestão anaeróbia, AnMBRs podem ser mais susceptíveis a incrustação inorgânica. No entanto, a incrustação orgânica ou inorgânica não são totalmente independentes. Os constituintes orgânicos interagindo com os precipitados inorgânicos contribuem para o aumento da camada de torta causando a incrustação na membrana (STUCKEY, 2012).

Para controlar o desenvolvimento da incrustação na membrana, diferentes estratégias têm sido estudadas e estão relacionadas com a configuração da membrana. Na configuração externa, a elevada velocidade do fluxo tangencial é mantida para limitar a acumulação de substâncias orgânicas e inorgânicas, responsáveis pela incrustação, sobre a membrana. Já na configuração submersa, o controle da incrustação é realizado por meio da aspersão com gás, retrolavagem e /ou relaxamento da membrana (HUANG et al., 2011; SMITH et al., 2012).

Membrana dinâmica

A membrana dinâmica (DM), que também é chamada de membrana secundária, é formada sobre um material de suporte onde o licor a ser filtrado contém partículas coloidais e constituintes orgânicos que normalmente causam a incrustação nas membranas. Na filtração em MD essas partículas e constituintes são retidos, pela camada de biomassa, evitando que ocorra a incrustação no material de suporte (FAN e HUANG, 2002; JEISON e VAN LIER, 2007).

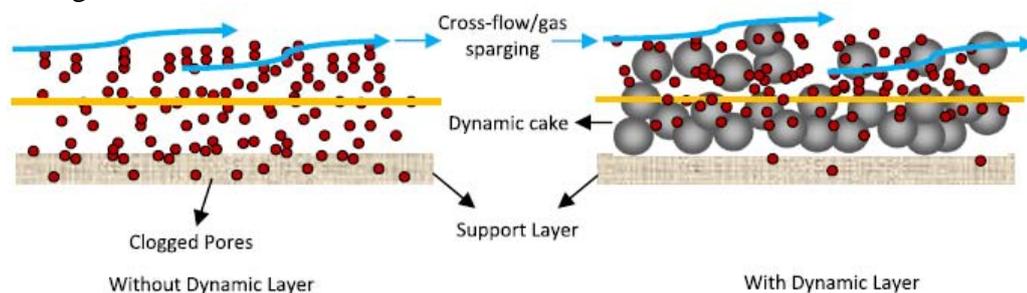
A formação da camada de torta sobre a superfície da membrana pode determinar as propriedades do concentrado no sistema, uma vez que a deposição da camada atuará como uma membrana “secundária” antes da membrana “real” ou material de apoio (ZHANG et al., 2010). Dessa maneira, a formação e o uso eficiente da camada de torta sobre o meio filtrante pode apresentar um novo conceito de filtração (ERSAHIN et al., 2014). Segundo Bae e Tak (2005) a formação da membrana dinâmica é um processo complexo que inclui muitos mecanismos microbiológicos, físicos e químicos, como a deposição interna, bloqueio dos poros e formação da torta. Na Figura 1 é demonstrada a formação da camada de torta dinâmica.

O desenvolvimento dos processos da camada de torta e incrustação da membrana desempenham um papel fundamental na filtração com DM em Biorreatores Anaeróbios de Membrana Dinâmica (AnDMBRs) possibilitando que esses reatores operem com sucesso, enquanto que representam a principal desvantagem em AnMBRs

que utilizam como membranas a ultrafiltração (UF) ou microfiltração (MF) (ALIBARDI et al., 2014; CHU et al., 2014).

O processo de formação da DM pode ser classificado em dois grupos: *self-forming* (SFDM) e *pre-coated* (PDM). O SFDM é originado nas substâncias que existem no licor a ser filtrado. Colóides e orgânicos de alto peso molecular são os principais componentes da SFDM. A PDM é produzida pela passagem da solução de um ou mais componentes coloidais específicos ou partículas reagentes sobre a superfície do meio poroso. Os métodos de formação SFDM e PDM são aplicados em MBRs aeróbios com resultados promissores. Até o momento, em AnMBRs, só foi aplicado o método de formação SFDM (YE et al., 2006; ERSAHIN et al., 2014).

Figura 1. Figura demonstrativa da camada de torta dinâmica.



Fonte: Ersahin et al. (2012).

Diferentes tipos de materiais baratos como malhas, tecidos com macroporos e filtros de pano podem ser usados como meio filtrante, ao invés de membranas de microfiltração (MF) ou ultrafiltração (UF), para a criação da camada de DM (CHU e LI, 2006). A lavagem com água, ar ou escovação pode ser o suficiente para limpeza da MD, sem a utilização de reagentes químicos. No entanto, dependendo do material de suporte, a limpeza pode ser acompanhada pela perda temporária da qualidade do efluente (CHU et al., 2014; ERSAHIN et al., 2012).

Uma das principais vantagens da MD é que a membrana em si pode não ser mais necessária, uma vez que a retenção dos sólidos é conseguida pela camada da membrana secundária que pode ser formada e re-formada no local como uma membrana auto-dinâmica (ERSAHIN et al., 2012). Uma vez que a membrana for gravemente obstruída, a camada dinâmica pode ser substituída por uma nova deposição da camada. Assim, os custos de compra e substituição física da nova membrana serão poupados (ZHANG et al., 2011).

A membrana dinâmica além de apresentar quase todas as características pertencentes a uma membrana comum, também tem distintas características, tais como menores despesas, baixo consumo de energia e alto fluxo (LIU et al., 2009).

CONCLUSÃO

A última década trouxe um interesse crescente na produção de AnMBRs devido a preocupações sobre uso de energia, emissões de gases de efeito estufa e recuperação de recursos, porém problemas de incrustações e como solucioná-los ainda são uma barreira para a disseminação do uso em escala real desses reatores. Uma alternativa para esse problema é a utilização da camada porosa e compressível (membrana dinâmica)

formada nos AnMBRs que pode servir como uma barreira limitando a passagem de partículas finas. Os custos de investimento e operacionais esperados nos AnDMBRs são substancialmente mais baixos do que nos AnMBRs que utilizam membrana convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIBARDI, L.; COSSU, R.; SALEEM, M.; SPAGNI, A. Development and permeability of a dynamic membrane for anaerobic wastewater treatment. **Bioresource Technology**, n. 161, p. 236-244, 2014.

BAE, T-H.; TAK, T-M. Interpretation of fouling characteristics of ultrafiltration membranes during the filtration of membrane bioreactor mixed liquor. **Journal of Membrane Science**, n. 264, p. 151-160, 2005.

CHEN, L.; GU, Y.; CAO, C.; ZHANG, J.; NG, J-W.; TANG, C. Performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor with forward osmosis membrane for low-strength wastewater treatment. **Water Research**, n. 50, p. 114-123, 2014.

CHU, L.; LI, S. Filtration capability and operational characteristics of dynamic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. **Separation Purification Technology**, n. 51, p. 173-179, 2006.

CHU, H.; ZHANG, Y.; ZHOU, X.; ZHAO, Y.; DONG, B.; ZHANG, H. Dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment: Operation, critical flux, and dynamic membrane structure. **Journal of Membrane Science**, n.450, p. 265-271, 2014.

DAGNEW, M.; PARKER, Q.; SETO, P. Anaerobic membrane bioreactors for treating waste activated sludge: Short term membrane fouling characterization and control tests. **Journal of Membrane Science**, n. 421-422, p.103-110, 2012.

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**, n. 122, p. 160-170, 2012.

DHAR, B-R.; GAO, Y.; YEO, H.; LEE, H-S. Separation of competitive microorganisms using anaerobic membrane bioreactors as pretreatment to microbial electrochemical cells. **Bioresource Technology**, n. 148, p. 208-214, 2013.

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. **Bioresource Technology**, n. 122, p. 196-206, 2012.

ERSAHIN, M.E.; OZGUN, H.; TAO, Y.; VAN LIER, J.B. Applicability of dynamic membrane technology in aerobic membrane bioreactor. **Water Research**, n. 48, p. 420-429, 2014.

FAN, B.; HUANG, X. Characteristics of a Self-Forming Dynamic Membrane Coupled with a Bioreactor for Municipal Wastewater Treatment. **Environmental Science Technology**, n. 36, p. 5245-5251, 2002.

GIMÉNEZ, J. B.; MARTÍ, N.; FERRER, J.; SECO, A. Methane recovery efficiency in a submerged anaerobic membrane bioreactor (SAnMBR) treating sulphate-rich urban wastewater: Evaluation of methane losses with the effluent. **Bioresource Technology**, n. 118, p. 67-72, 2012.

HO, J.; SUNG, S. Methanogenic activities in anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) treating synthetic municipal wastewater. **Bioresource Technology**, n. 101, p. 2191-2196, 2010.

HU, A.Y.; STUCKEY, D.C. Treatment of dilute wastewater using a novel submerged anaerobic membrane bioreactor. **Journal of Environmental Engineering**, n. 132, p. 190-198, 2006.

HUANG, Z.; ONG, S. L.; NG, H.Y. Submerged anaerobic membrane bioreactor for low-strength wastewater treatment: Effect of HRT and SRT on treatment performance and membrane fouling. **Water Research**, n. 45, p 705-713, 2011.

JEISON, D.; VAN LIER, J.B.; Cake formation and consolidation: Main factors governing the applicable flux in anaerobic submerged membrane bioreactors (AnSMBR) treating acidified wastewaters. **Separation Purification Technology**, n. 56, 71-78, 2007.

KANG, I-J.; YOON, S-H.; LEE, C-H. Comparison of the filtration characteristics of organic and inorganic membranes in a membrane-coupled anaerobic bioreactor. **Water Research**, n. 36, p. 1803-1813, 2002.

LE-CLECH, P.; CHEN, V.; FANE, T.A.G. Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. **Journal Membrane Science**, n. 28, p. 17-53, 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**, n. 314, p. 169-188, 2013.

LIU, H.; YANG, C.; PU, W.; ZHANG, J. Formation mechanism and structure of dynamic membrane in the dynamic membrane bioreactor. **Chemical Engineering Journal**, n.148, p. 290-295, 2009.

LIU, Y.; LIU, H.; CUI, L.; ZHANG, K. The ration of food-to-microorganism (F/M) on membrane fouling of anaerobic membrane bioreactors treating low-strength wastewater. **Dessalination**, n. 297, p. 97-103, 2012.

MARTINEZ-SOSA, D.; HELMREICH, B.; HORN, H. Anaerobic submerged membrane bioreactor (AnSMBR) treating low-strength wastewater under psychrophilic temperature conditions. **Process Biochemistry**, n. 47, p. 792–798, 2012.

MEABE, E.; DÉLÉRIS, S.; SOROA, S.; SANCHO, L. Performance of anaerobic membrane bioreactor for sewage sludge treatment: Mesophilic and thermophilic processes. **Journal of Membrane Technology**, n. 446, p. 26-33, 2013.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment disposal reuse**. 4 ed. New York: McGraw-Hill Book, 2003.

OZGUN, H.; ERSAHIN, M.E.; TAO, Y. SPANJERS, H.; VAN LIER, J.B. Effect of upflow velocity on the effluent membrane fouling potential in membrane coupled upflow anaerobic sludge blanket reactors. **Bioresource Technology**, n. 147, p. 285-292, 2013.

PRETEL, R.; ROBLES, A.; RUANO, M. V.; SECO, A.; FERRER, J. Environmental impact of submerged anaerobic MBR (SAnMBR) technology used to treat urban wastewater at different temperatures. **Bioresource Technology**, n. 149, p. 532-540, 2013.

SEIDEL, A.; ELIMELECH, M. Coupling between chemical and physical interactions in natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes: implications for fouling control. **Journal of Membrane Technology**, n. 203, p. 245-255, 2002.

SKOUTERIS, G.; HERMOSILLA, D.; LÓPEZ, P.; NEGRO, C.; BLANCO, A. Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: A review. **Chemical Engineering Journal**, n. 198-199, p. 138-148, 2012.

SMITH, A.L.; STADLER, L.B.; LOVE, N.G.; SKERLOS, S.J.; RASKIN, L. Perspectives on anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater: A critical review. **Bioresource Technology**, n. 122, p. 149-159, 2012.

SMITH, A.L.; SKERFLOS, J.S.; RASKIN, L. Psychrophilic anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater. **Water Research**, n. 47, p. 1655-1665, 2013.

STUCKEY, D.C. Recent developments in anaerobic membrane reactors. **Bioresource Technology**, n. 122, p. 137-148, 2012.

TORRES, A.; HEMMELMANN, A.; VERGARA, C.; JEISON, D. Application of two-phase slug-flow regime to control flux reduction on anaerobic membrane bioreactors treating wastewaters with high suspended solids concentration. **Separation and Purification Technology**, n. 79, p. 20-25, 2011.

WANG, Z.; MA, J.; TANG, C.Y.; KIMURA, K.; WANG, Q.; HAN, X. Membrane cleaning in membrane bioreactors: A review. **Journal of Membrane Science**, n. 468, p. 276-307, 2014.

WEI, Y.; LI, G.; WANG, B. Application of Granular Sludge Membrane Bioreactor in the Treatment of Wastewater. **Procedia Environmental Sciences**, n. 10, p. 108-111, 2011.

YE, M.; ZHANG, H.; WEI, Q.; LEI, H.; YANG, F.; ZHANG, X. Study on the suitable thickness of a PAC-precoated dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment. **Desalination**, n. 194, p. 108-120, 2006.

ZHANG, X.; WANG, Z.; WU, Z.; WEI, T.; LU, F.; TONG, J.; ZANG, L. Formation of dynamic membrane in an anaerobic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, n. 165, p. 175-183, 2010.

ZHANG, X.; WANG, Z.; WU, Z.; WEI, T.; LU, F.; TONG, J.; MAI, S. Membrane fouling in an anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for municipal wastewater treatment: Characteristics of membrane foulants and bulk sludge. **Process Biochemistry**, n. 46, p. 1538-1544, 2011.