

Eixo A - Tratamento avançado de águas residuárias e reuso de água

TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO USANDO MBR E MABR EM PLANTAS PARALELAS: REMOÇÃO DE DQO E DBO COMO INDICADORES DE PERFORMANCE

Douglas Silveira Moraes

Mestrado em Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, FECFAU-UNICAMP, douglas.moraes78@hotmail.com

Rebeca Carvalho Siqueira

Mestrado em Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, FECFAU-UNICAMP, rebeca.csiqueira@gmail.com

José Roberto Guimarães

Professor Titular na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, FECFAU-UNICAMP, jorober@unicamp.br

ABSTRACT

New technologies and processes have been developed, searching for higher efficiency to improve the treatment of effluents discharged into the environment. This work presents the performances, advantages, and disadvantages of two of these processes, the MBR (Membrane Bioreactor) and the MABR (Membrane-Aerated Biofilm Reactor). The data were collected in a comparative study between a full-scale MBR plant and an MABR pilot plant installed in the same place, using the same raw sanitary sewage source. The MBR presented higher efficiencies for Chemical Oxygen Demand (COD) and Biochemical Oxygen Demand (BOD). However, the MABR was more efficient concerning the indicators of electric energy consumption per COD load removed and COD load removed per reactor volume. It also was verified the need for and importance of having an efficient system to control and remove the suspended solids in the MABR reactor, being an impacting factor in the pollutant removal efficiency results.

KEY-WORDS: Membranes. Wastewater. Pilot scale.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade dos efluentes descartados nos corpos hídricos tem aumentado, em virtude da situação crítica quanto à presença de contaminantes que podem colocar em risco a água destinada ao abastecimento público. Somado aos fatos de que a fiscalização e controle feitos pelos órgãos ambientais tem se intensificado e menores limites de concentração de alguns poluentes têm sido estabelecidos para descarte e que as estações de tratamento de água convencionais, que representam a grande maioria pelo mundo, não têm capacidade de atender esses limites, novas tecnologias e processos mais eficientes têm sido pesquisados e desenvolvidos.

Dentre esses processos, o biorreator de membranas (MBR) tem ganhado força desde a década de 1990. Nesse processo, a biomassa em suspensão é separada do líquido por membranas de ultrafiltração, o que possibilita operar com concentrações altas de sólidos

suspensos voláteis (SSV), diminuindo consideravelmente o volume do tanque de aeração, o que é uma vantagem quando comparado ao processo de Lodo Ativado Convencional (LAC). Esse processo resulta em baixos valores de sólidos suspensos totais (SST) e turbidez, comumente $<0,5$ mg/L e $<0,5$ NTU, respectivamente. Além disso, a eficiência na remoção de microrganismos como coliformes totais e fecais é alta, tipicamente $> 99,9999\%$ (JUDD, 2017; KRAUME e DREW, 2010; SKOCZKO, 2020).

Um outro processo, o reator de biofilme por membrana aerada (MABR, do inglês *Membrane Aerated Biofilm Reactor*), apresenta algumas características peculiares como alta taxa de transferência de oxigênio, o que resulta em economia de energia. Também, por suportar diferentes tipos de microrganismos no seu biofilme, proporciona a remoção da matéria orgânica simultaneamente com nitrificação e desnitrificação, em um único reator. Nesse processo, o biofilme é naturalmente imobilizado na superfície de uma membrana permeável a gases e o oxigênio se difunde através da membrana para o interior do biofilme, onde ocorre a oxidação dos poluentes pela comunidade microbiana (CASEY, 2008; MARTIN, 2012). Isso permite atingir taxas de transferência de oxigênio superiores a 50%, comparado com máximo de 30% obtido nos sistemas de aeração por difusão tradicionais, resultando em economia energética global em até 75%.

Alguns estudos de performance desses processos têm sido publicados (JEFFERSON, B. *et al*, 2000; POTVIN *et al.*, 2012; LONG *et al.*, 2020; SYRON *et al.*, 2013.; CASEY *et al*, 2008), porém a grande maioria é em escala de bancada, dificultando as conclusões, quando se quer projetar para escala real. Poucos estudos foram dedicados em comparar as vantagens e as desvantagens entre MABR e MBR, sendo que na maioria das vezes as comparações são com o lodos ativados ou com o filtro biológico aerado.

O objetivo do presente trabalho é apresentar um estudo comparativo entre uma planta em escala real de MBR e uma planta piloto de MABR instalada no mesmo local, usando a mesma fonte de esgoto sanitário, avaliando as performances, vantagens e desvantagens de ambas, com destaque para a remoção de DQO e DBO.

2. METODOLOGIA

A parte experimental desse trabalho foi realizada nas dependências de um Shopping Center localizado na cidade de Jundiaí, no Estado de São Paulo, Brasil. Nesse empreendimento o esgoto sanitário é tratado por uma estação de tratamento de esgoto (ETE) com tecnologia de MBR, do tipo submersível de placas planas. Uma planta piloto de tratamento de esgoto, com tecnologia de MABR, foi instalada em paralelo com o MBR em escala real, para fazer o estudo comparativo de forma adequada.

O esgoto bruto que alimentava a planta piloto foi captado exatamente no mesmo ponto de alimentação da ETE em escala real, que era a jusante de um tanque de equalização existente. Foram coletadas amostras em três pontos simultaneamente em cada dia de coleta, sendo esses: 1) saída do tanque de esgoto bruto equalizado; 2) saída do MBR e 3) saída do MABR (**Figura 1**). O monitoramento do efluente bruto e tratado foi realizado pela análise de DQO, DBO e SST, de acordo com o Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23rd edition, usando as dependências do Laboratório Multiusuário de Saneamento (LABSAN) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Para medição da energia elétrica consumida pela planta piloto foi usado um wattímetro do tipo eletrônico, atestado conforme os requerimentos da norma International Standard

IEC62053-21 (classe 1 e 2), e para medição da vazão de esgoto tratado, foi usado um hidrômetro convencional, atestado pelo INMETRO.

Os dados de consumo de energia elétrica e vazão da planta em escala real foram informados pelos responsáveis da ETE do empreendimento comercial. Os testes duraram em torno de 6,5 meses, sendo que os primeiros 3,5 meses foram usados para o crescimento do biofilme e estabilização do sistema e durante os últimos 3 meses foram coletadas as amostras e demais dados operacionais.

Figura 1 – Etapas da ETE em escala real (azul), planta piloto (vermelho) e pontos de amostragem (laranja)

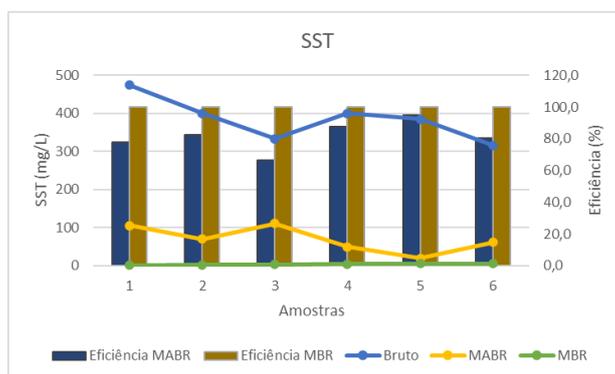


Fonte: o autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH, temperatura e OD da planta piloto se mantiveram estáveis durante todo período do experimento, com valores médios de 6,8, 23,17 °C e 1,81 mg/L, respectivamente. Já os valores referentes ao SST das plantas de escala real e piloto podem ser vistos na **Figura 2**.

Figura 2 – Dados de monitoramento de SST das plantas piloto e escala real



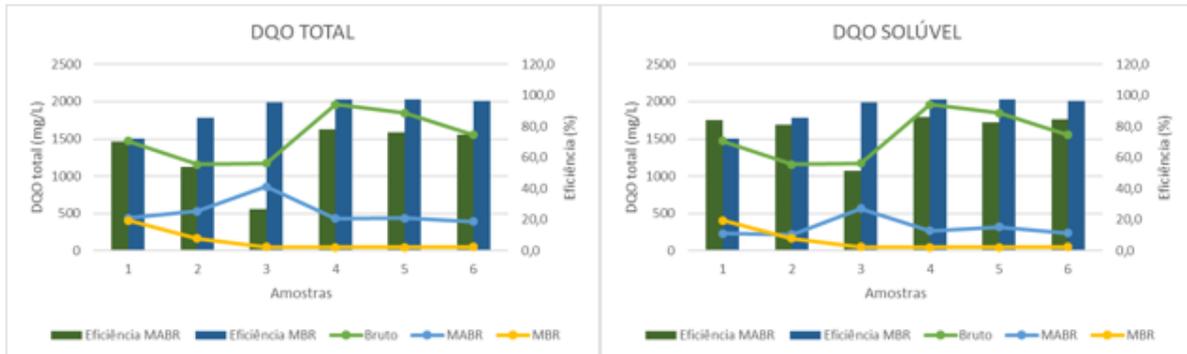
Fonte: o autor.

O valor médio encontrado de sólidos suspensos totais no esgoto bruto foi de 384,5 mg/L, após o reator de MABR foi 69,45 mg/L, enquanto para o reator de MBR foi virtualmente zero. Assim as médias das eficiências de remoção foram 81,7% para o MABR e próximo de 100% para o MBR, valores próximos aos presentes na literatura, como estudo feito por Skoczko *et al.* (2020), que obteve eficiência superior a 99,5% em estação de tratamento municipal onde aplicou-se o processo de MBR.

De acordo com a **Figura 3**, o valor médio encontrado de DQO total no esgoto bruto foi de 1.528 mg/L, após o reator de MABR foi 515 mg/L e após o reator de MBR foi 130 mg/L. A média das eficiências de remoção foram 63,3% para o MABR e 90,8% para o MBR. Pelos

resultados obtidos no presente trabalho, a remoção da DQO total pela tecnologia de MBR foi superior ao MABR, porém, para entender a influência dos sólidos em suspensão nos valores de DQO total, foram feitas análises também de DQO solúvel, filtrando-se as amostras em papel de filtro de 0,2 micra. Em média 40,7% da DQO total na saída do reator de MABR estava em suspensão. Desta forma, considerando que a DQO em suspensão fosse removida, o valor médio de DQO total, após o MABR, seria 308 mg/L (antes 515 mg/L) e a remoção média seria 78,4% (antes 63,3%), ficando mais próximo dos resultados do MBR.

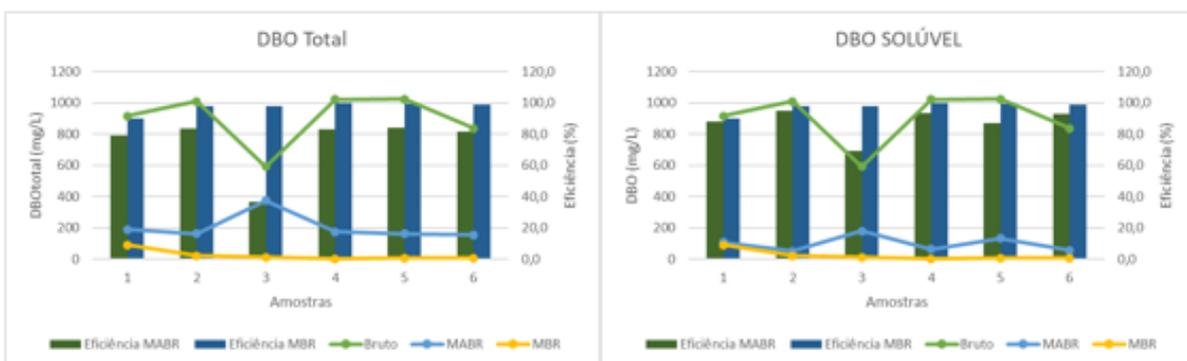
Figura 3 – Dados de monitoramento de DQO total e solúvel das plantas piloto e escala real



Fonte: o autor.

O valor médio encontrado de DBO total no esgoto bruto foi de 900 mg/L, após o reator de MABR e MBR foi 204 mg/L e 24,5 mg/L, respectivamente. A média das eficiências de remoção foram 74,7% para o MABR e 97,2% para o MBR (**Figura 4**). Assim como para DQO, para compreender a influência dos sólidos em suspensão foi realizado a análise da DBO solúvel, o que revelou que 51% da DBO total da saída do reator de MABR estava em suspensão. Assim, considerando que a DBO em suspensão fosse removida, o valor médio de DBO total, após o MABR, seria 100 mg/L (antes 204 mg/L) e a remoção média seria de 87,6% (antes 74,7%), ficando mais próximo dos resultados do MBR.

Figura 4 – Dados de monitoramento da DBO total e solúvel das plantas piloto e escala real



Fonte: o autor.

Em relação ao indicador de consumo de energia elétrica por carga de DQO removida, foram obtidos os valores de 5,2 kWh/kg DQO_{removido} para o MBR e 2,3 kWh/kg DQO_{removido}, para o MABR. Portanto, o processo de MABR consumiu 2,3 vezes menos energia elétrica que o processo de MBR. Esse resultado é muito interessante e de certa forma já esperado, uma vez que o baixo consumo de energia elétrica é o grande ponto forte do processo de MABR (SEMMENS, 2003; CASEY; VALE; SYRON, 2013).

Tratando-se do indicador de remoção de carga de DQO por volume de reator ($\text{kg DQO}_{\text{removido}}/\text{m}^3$ reator), obtiveram-se os valores de $78 \text{ kg DQO}_{\text{removido}}/\text{m}^3$ reator, para o MBR e $249 \text{ kg DQO}_{\text{removido}}/\text{m}^3$ reator, para o MABR. Portanto, no processo de MABR foi removido 3,2 vezes mais carga de DQO por volume de reator, comparado ao MBR.

4. CONCLUSÕES

Pelos dados apresentados nesse trabalho, é possível concluir que:

O processo de MABR é muito sensível a concentrações de sólidos suspensos, sendo esse parâmetro impactante nos resultados de DQO e DBO, tornando-se necessário uma etapa de remoção desses sólidos antes ou após o reator.

A eficiência nominal de remoção de DQO e DBO foi maior para o MBR, porém, quando verificado o indicador de consumo de energia elétrica por carga removida de DQO ($\text{kWh/kg DQO}_{\text{removido}}$), o MABR mostrou-se 2,3 vezes mais eficiente. Para a relação de carga de DQO removida por volume de reator ($\text{kg DQO}_{\text{removido}}/\text{m}^3$ reator), o MABR apresentou um valor de eficiência 3,2 vezes superior ao MBR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASEY, E. *et al.* Comparative economic analysis of full scale MABR configurations. In: IWA NORTH AMERICAN MEMBRANE RESEARCH CONFERENCE, 2008, Amherst, USA. <http://hdl.handle.net/10197/4263>

JEFFERSON, B. *et al.* Membrane bioreactors and their role in wastewater reuse. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 41, n. 1, p. 197–204, 2000.

JUDD, S. J. Membrane technology costs and me. *Water Research*, v. 122, p. 1-9, 2017.

KRAUME, M; DREW, A. Membrane Bioreactors in Waste Water Treatment – Status and Trends. *Chemical Engineering Technology*, v. 8, p. 1251-1259, 2010.

LONG, Zebo *et al.* Simulation of Long-Term Performance of an Innovative Membrane-Aerated Biofilm Reactor. *Journal of Environmental Engineering*, v. 146, n. 6, p. 1-10, 2020.

MARTIN, K. J.; NERENBERG, R. The membrane biofilm reactor (MBfR) for water and wastewater treatment: Principles, applications, and recent developments. *Bioresource Technology*, v. 122, p. 83-94, 2012.

POTVIN, C. M.; LONG, Z.; ZHOU, H. Removal of tetrabromobisphenol A by conventional activated sludge, submerged membrane and membrane aerated biofilm reactors. *Chemosphere*, v. 89, p. 1183-1188, 2012.

SEMMENS, Michael J. *et al.* COD and nitrogen removal by biofilms growing on gas permeable membranes. *Water Research*, v. 37, p. 4343-4350, 2003.

SKOCZKO, I; PUZOWSKI, Pawel; SZATYLOWICZ. Experience from the Implementation and Operation of the Biological Membrane Reactor (MBR) at the Modernized Wastewater Treatment Plant in Wydmyny. *Water*, v. 12, n. 3410, p. 1-14, 2020.

SYRON, E.; VALE, P.; CASEY, E. Where did the bubbles go? How to reduce the energy requirements for municipal wastewater treatment. In: IWA LEADING EDGE TECHNOLOGY, 2013, Abu Dhabi, UAE.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23 edition. Washington. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington-DC, USA, 1545 p. 2017.