

**Biorreatores com membranas no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo: estudo de caso****Membrane bioreactors in the treatment of oil refinery effluents: case study**

DOI:10.34117/bjdv5n12-038

Recebimento dos originais: 07/10/2019

Aceitação para publicação: 04/12/2019

**Ronei de Almeida**

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, 21941-909, Cidade Universitária – Fundão, Rio de Janeiro–RJ, Brasil. Tel/Fax: +55 21 96523-0778

E-mail: ronei@eq.ufrj.br

**Mariana Brito do Couto**

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, 21941-909, Cidade Universitária – Fundão, Rio de Janeiro–RJ, Brasil. Tel/Fax: +55 21 2562-7346

E-mail: mariana.brito@msn.com

**Jarina Maria de Souza Couto**

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, 21941-909, Cidade Universitária – Fundão, Rio de Janeiro–RJ, Brasil. Tel/Fax: +55 21 21 99554-1747

E-mail: jarinacouto@gmail.com

**Rosana Gouvêa Mauricio**

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, 21941-909, Cidade Universitária – Fundão, Rio de Janeiro–RJ, Brasil. Tel/Fax: +55 21 3938-7533

E-mail: rosana@eq.ufrj.br

**Juacyara Carbonelli Campos**

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, 21941-909, Cidade Universitária – Fundão, Rio de Janeiro–RJ, Brasil. Tel/Fax: +55 21 3938-7640

E-mail: juacyara@eq.ufrj.br

**RESUMO**

As refinarias de petróleo são um dos grandes geradores de poluentes da atualidade. Cada vez mais, os órgãos regulamentadores elevam o padrão de descarte de efluentes, com o objetivo de reduzir as emissões destes nos corpos hídricos. Desta forma, as indústrias modificam e adaptam os tratamentos das águas residuárias, a fim de enquadrá-los à legislação vigente e minimizar a utilização dos recursos naturais. Nas últimas décadas, novas tecnologias foram desenvolvidas, como a utilização de Biorreatores com Membranas (MBR) para o tratamento biológico do efluente em substituição aos tratamentos convencionais por lodos ativados. Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de MBR no tratamento de efluentes líquidos de uma refinaria de petróleo e compará-lo, em termos de eficiência de remoção dos parâmetros de poluição, ao tratamento convencional adotado. No tratamento com MBR, foram obtidos resultados de remoção de demanda

química de oxigênio, sólidos suspensos totais, óleos e graxas acima de 98%, e de remoção percentual de nitrogênio amoniacal e demanda bioquímica de oxigênio de 79,9% e 92%, respectivamente. A utilização do MBR mostrou-se eficiente, sendo uma potencial tecnologia para o tratamento de águas residuárias de refinarias de petróleo.

**Palavras-chave:** Biorreatores com membrana, bio-oxidação, estudo de caso, MBR, refinaria de petróleo.

## **ABSTRACT**

Oil refineries are one of today's major pollutant generators. Increasingly, regulators are raising the standard of wastewater disposal to reduce their emissions into water bodies. In this way, the industries are adapting their effluent treatments in order to comply with the legislation and reduce resource consumption. In the last decades, new technologies are developed, such as the use of Membrane Bioreactors (MBR) for the biological treatment of effluent in substitution to conventional treatments. Due to the relevance of the theme, the present work aims to evaluate the use of MBR in the treatment of liquid effluents of an oil refinery, presenting a review on the use of this technology for treating the effluent mentioned, as well as performing a comparative analysis of conventional treatment and treatment using MBR, through a case study. Results of removal of chemical oxygen demand, total suspended solids, oils and greases above 98% and removal of ammonia nitrogen and biochemical oxygen demand of 79.9% and 92% respectively, were found in the treatment using MBR along with oxidation ponds. It was concluded that the use of MBR proved to be efficient, is a potential technology for the treatment of wastewater from oil refineries.

**Key words:** Biooxidation, case study, MBR, membrane bioreactors, oil refinery.

## **1 INTRODUÇÃO**

O refino do petróleo acarreta a geração de uma quantidade significativa de águas residuárias potencialmente poluidoras. Ao serem lançados em corpos d'água sem devido tratamento, os efluentes das indústrias petrolíferas provocam desequilíbrio no ambiente, por transportarem compostos de difícil degradação e elevada ecotoxicidade (Goswami et al., 2018; Shokrollahzadeh et al., 2008).

O tratamento convencional dos efluentes de águas residuárias de uma refinaria é feito em nível primário e secundário. Em nível primário, baseia-se em métodos físico-químicos, como a separação óleo-água e coagulação-floculação (Stepnowski *et al.*, 2002). Já o tratamento biológico, é geralmente realizado com utilização de lodos ativados, lagoas de estabilização e leitos percoladores (Gede et al., 2019).

De acordo com Veronese (2013), a utilização de sistemas de lodos ativados convencional, como processo biológico de efluentes de refinaria, apresenta limitações em relação à remoção de compostos orgânicos recalcitrantes, nitrogênio amoniacal e outros compostos químicos presentes. Assim, atualmente, acredita-se que a utilização da associação de biorreatores aeróbios a membranas de microfiltração (MF) ou ultrafiltração (UF) possa produzir resultados satisfatórios no tratamento de efluentes de refinaria de petróleo. Ainda segundo o autor, a combinação de biorreatores e processos de separação por membranas é uma estratégia atraente devido a possibilidade de superação das

principais limitações dos processos biológicos convencionais, e.g., baixa qualidade e instabilidade do lodo e baixa concentração de licor misto em suspensão.

O Biorreator com Membrana (MBR) é um processo de tratamento biológico que utiliza as vantagens do processo de lodos ativados e da filtração por membranas. Nele é dispensado o uso de um sedimentador secundário, pois a separação sólido-líquido (ou separação da biomassa) ocorre por meio das membranas de MF ou UF (Ma et al., 2018). O reator biológico pode trabalhar em condições aeróbias ou anaeróbias, dependendo das características do efluente a ser tratado. A maioria das instalações existentes, tal como ocorre com o processo convencional, funcionam com reatores biológicos aerados. O crescimento lento dos microrganismos anaeróbios e a baixa adaptação às variações de carga fazem com que os processos anaeróbios sejam pouco difundidos. Além disso, os custos de capital são maiores em sistemas de membranas em condições anaeróbias e, de alguma forma, seu funcionamento apresenta maior complexidade (FLORIDO, 2011; MAAZ et al., 2019; MOSER et al., 2018).

Como os MBRs oferecem várias vantagens sobre os processos biológicos convencionais no tratamento de águas residuárias, essa tecnologia tem sido extensivamente explorada e revisada na literatura (Goswami et al., 2018; Ma et al., 2018; Razavi & Miri, 2015; Vieiro et al., 2008). Vieiro et al. (2008) reportou elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica e compostos fenólicos através do uso de MBR para tratamento de efluentes de refinaria, destacando o papel do processo de filtração por membranas em promover remoções adicionais de demanda química de oxigênio (DQO) e carbono orgânico total (COT), 17 e 20%, respectivamente. Investigação mais recente, realizada por Razavi & Miri (2015), apresentou percentuais de remoção de 82% de DQO e 89% de demanda bioquímica de oxigênio através de um biorreator com membrana de UF.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar através de um estudo de caso, o uso de Biorreatores com Membranas no tratamento de efluentes líquidos de uma refinaria de petróleo localizada no Brasil.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 ESTUDO DE CASO**

O estudo de caso em questão foi baseado no processo de tratamento de efluente de uma refinaria de petróleo identificada neste trabalho como Empresa A. A Empresa A é uma refinaria de petróleo localizado no Brasil. Possui uma estação de tratamento de despejos industriais (ETDI) em seu próprio parque de produção. A ETDI possui tratamentos físico-químicos e biológico para tratar as correntes de águas oleosas e contaminadas das unidades de processo de toda a refinaria a fim de

enviar o efluente tratado para um corpo receptor natural, dentro dos limites especificados pela legislação local.

A estação trata uma corrente de águas oleosas que é um efluente o qual a água entra em contato direto com os produtos, como exemplos tem-se as drenagens de tanques e os processos de refino do petróleo, como dessalgação e retificação a vapor. Também trata a corrente de águas contaminadas que é um efluente que compreende toda a água que escoa sobre os pisos de unidades, suscetível a contaminações, em caso de precipitação pluviométrica sobre as unidades do processo ou as águas utilizadas nas lavagens de áreas, incluindo purgas de torres de resfriamento.

Os efluentes oleosos e contaminados, chegam à unidade de tratamento através de manilhas e tubulações subterrâneas. A ETDI é composta por 5 unidades que tratam correntes específicas do processo. O fluxograma simplificado da estação é apresentado na Figura 1.

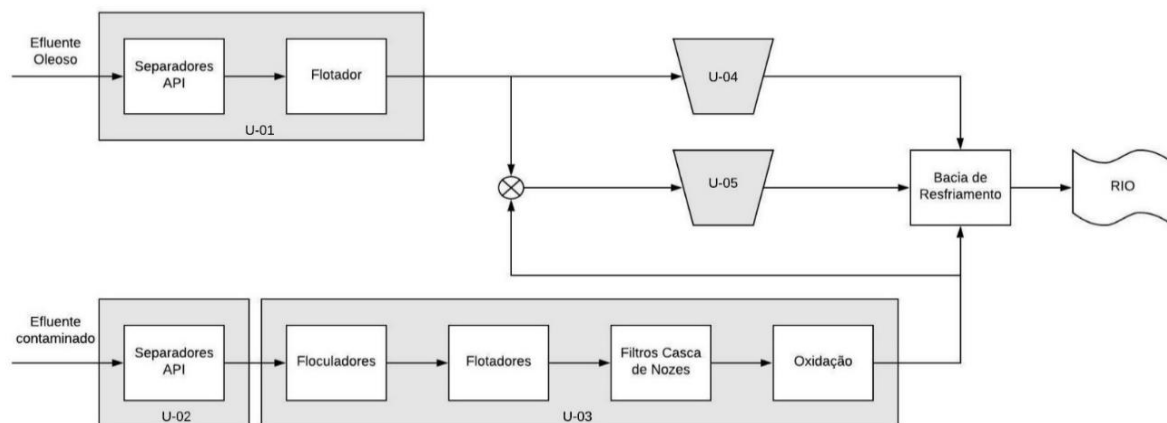


Figura 1 Fluxograma simplificado do processo de tratamento da ETDI. **U-01**: tratamento físico-químico do efluente oleoso da refinaria; **U-02**: tratamento físico-químico do efluente contaminado da refinaria; **U-03**: tratamento físico-químico do efluente final da U-02 para enquadramento de requisitos legais de descarte; **U-04**: tratamento biológico parte do efluente final da U-01 através de lagoas de oxidação; **U-05**: tratamento físico-químico e biológico de parte do efluente final da U-01, através de MBR, com foco na remoção de amônia.

A U-04 é uma unidade composta por 5 lagoas de oxidação que operam com vazão máxima de  $1.100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  de carga proveniente da U-01. A U-04 foi a única unidade de tratamento biológico na refinaria até o ano de 2018. Em julho de 2018, houve o advento da U-05 a fim de melhorar a qualidade do efluente tratado, principalmente no parâmetro de concentração de amônia, e reduzir a área de instalação do tratamento biológico. Desta forma, as duas unidades tratam paralelamente o efluente. Entretanto, o planejamento da empresa é utilizar somente a U-05 em detrimento da U-04 nos próximos anos. A U-05 possui, além dos biorreatores com membranas, um tratamento primário. Ele consiste em operações com floculadores, flotadores e filtros com adição de produtos químicos.

O fluxograma simplificado da ETDI antes da instalação da U-05 é apresentado na Figura 2.

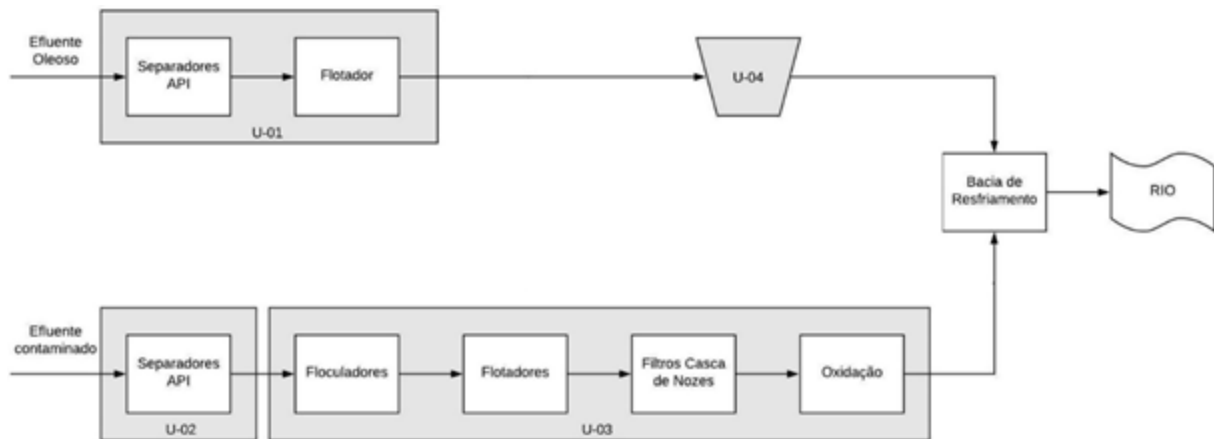


Figura 2 Fluxograma simplificado do processo de tratamento da ETDI antes da instalação da U-05.

A vazão máxima de efluente final tratado é de  $800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e o lodo gerado após a filtração pelo MBR é recirculado para manter a concentração de biossólidos adequada no bioreator. As condições operacionais do processo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Condições operacionais da planta da U-05.

Parâmetro	Unidade	Condição
Tempo de Retenção Hidráulico (TRH)	h	9,2
Idade de lodo	dia	15 - 25
Vazão de ar no tanque de membranas	$\text{Nm}^3/\text{h}$	3700
OD no bioreator	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	2,0
pH no reator	-	7,0 - 8,5

Após a implementação da U-05 é esperado que o efluente tratado alcance os valores de parâmetros apresentados na Tabela 2, conforme dados do fabricante do MBR e comissionamento da U-05

Tabela 2 Qualidade final esperada do efluente após implementação da U-05.

Parâmetro	Unidade	Valores máximos
pH	-	5 - 9
Sólidos Suspensos Totais (SST)	$\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$	Visualmente ausentes
$\text{DBO}_5$	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	5
DQO	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	60
Fenóis	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0,2
Sulfeto	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1
Nitrogênio Amoniacal	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	1
Nitrogênio total	$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	60

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

A análise do estudo de caso foi realizada a partir da caracterização das águas residuárias nas unidades de entrada (Entrada 1: sistema de águas oleosas e Entrada 2: sistema de águas contaminadas) e da caracterização da água de saída, na bacia, através de ensaios laboratoriais. É apresentada a qualidade de efluente descartado no rio em dois momentos distintos. Um deles somente com a operação da U-04, ou seja, com as lagoas de bio-oxidação, e o outro com a operação conjunta da U-05, que iniciou operação em julho de 2018, com atuação dos MBR. Os pontos de coleta de amostra são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Pontos de amostragem do efluente

Variável	Entrada 1 (U-01)	Entrada 2 (U-02)	Saída
pH	Saída do Separador API	Saída do Separador API	Bacia
Nitrogênio Amoniacal	Saída do Flotador	Saída do Separador API	Bacia
DQO	Saída do Separador API	Saída do Separador API	Bacia
Fenóis	Saída do Flotador	Saída do Separador API	Bacia
Sulfeto	Saída do Flotador	N.A.	Bacia
DBO <sub>5</sub>	Saída do Flotador	N.A.	Bacia
SST	N.A.	N.A.	Bacia
Nitrogênio total	N.A.	N.A.	Bacia

A caracterização do efluente realizada em Novembro de 2017, sem operação da U-05, e em Novembro de 2018, com operação da U-05. Os dados de caracterização foram fornecidos pela Empresa A.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de caracterização do efluente antes e após o advento da U-05 são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 Caracterização do efluente antes da implantação da U-05.

Parâmetro	Unidade	Entrada 1			Entrada 2			Saída		
		Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
pH	-	9,35	6,05	8,49	9,89	5,95	6,89	7,50	6,61	7,19
Nitrogênio Amoniacal	mg. L <sup>-1</sup>	21,8	3,1	12,3	7,6	0,1	1,0	10,0	0,8	6,5
DQO	mg. L <sup>-1</sup>	21191,00	532,08	3181,09	13091,00	106,88	3694,47	94,86	21,44	46,43
Fenóis	mg. L <sup>-1</sup>	15,34	1,12	6,26	1,10	0,01	0,20	0,16	0,02	0,06
Sulfeto	mg. L <sup>-1</sup>	16,61	3,01	7,94	N.A.	N.A.	N.A.	0,56	0,01	0,12
DBO <sub>5</sub>	mg. L <sup>-1</sup>	1301,7	222,5	624,1	N.A.	N.A.	N.A.	37,3	12,9	24,4
SST	mg. L <sup>-1</sup>	1026	20	286	N.A.	N.A.	N.A.	35	4	15
Nitrogênio total	mg. L <sup>-1</sup>	36,0	7,9	22,0	N.A.	N.A.	N.A.	12,3	6,4	10,3

N.A.: Não Avaliado

Tabela 5 Caracterização do efluente após implantação da U-05.

Parâmetro	Unidade	Entrada 1			Entrada 2			Saída		
		Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média
pH	-	7,37	7,26	7,32	7,88	5,63	7,01	7,10	6,95	7,10
Nitrogênio Amoniacal	mg. L <sup>-1</sup>	26,1	2,4	10,4	5,7	N.D.	2,1	3,4	0,8	2,1
DQO	mg. L <sup>-1</sup>	13927,20	208,60	2777,51	16297,20	425,44	2939,12	61,53	23,23	42,51
Fenóis	mg. L <sup>-1</sup>	12,33	0,32	4,80	0,47	0,05	0,21	0,18	0,03	0,07
Sulfeto	mg. L <sup>-1</sup>	102,50	1,70	17,06	N.A.	N.A.	N.A.	0,50	0,20	0,33
DBO <sub>5</sub>	mg. L <sup>-1</sup>	631,3	318,3	486,7	N.A.	N.A.	N.A.	69,6	18,8	39,2
SST	mg. L <sup>-1</sup>	2630	50	540	N.A.	N.A.	N.A.	18	4	10
Nitrogênio total	mg. L <sup>-1</sup>	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	6,92	2,00	4,68

N.A.: Não Avaliado

Para todos os parâmetros avaliados, os valores encontrados nas análises estão dentro dos limites requeridos nas legislações federal (Conama n° 430/2011) e estadual, com exceção do nitrogênio amoniacal no período antes da operação da U-05.

O resultado de nitrogênio amoniacal de 6,5 mg. L<sup>-1</sup>, de antes da operação da U-05, obedeceu ao limite imposto na Resolução Conama 430/2011 (20 mg. L<sup>-1</sup>), porém não se enquadrava no padrão para descarte estadual, que é mais restritivo. Entretanto, é importante salientar que este resultado é de apenas um período de operação do sistema, podendo no geral, anual, a empresa estar em acordo com ambas as legislações. Para isso ser constatado, deve ser feito um estudo detalhado por um período maior. Desta forma, a implantação da U-05 proporcionou a regularização do parâmetro de concentração de amônia para o efluente desta refinaria.

Por outro lado, em relação aos valores esperados de acordo com dados do fabricante, os parâmetros DBO<sub>5</sub> e amônia não atingiram os valores propostos. Por ser uma unidade nova, apenas quatro meses de operação, é possível que alguns ajustes operacionais para alcançar a qualidade de efluente esperada devam ser realizados, sobretudo quando relacionados à operação dos flotores e filtros casca de nozes, principais operações removedoras de óleo e graxas do sistema.

Na Figura 3 são apresentados os resultados de eficiência de remoção de cada parâmetro analisado em relação ao efluente tratado na ausência e na presença da U-05, com MBR. Foram considerados somente parâmetros que possuíam dados de entrada e saída, além de ser utilizado a média da Entrada 1, sistema de águas oleosas - U-01, para fins de cálculo.

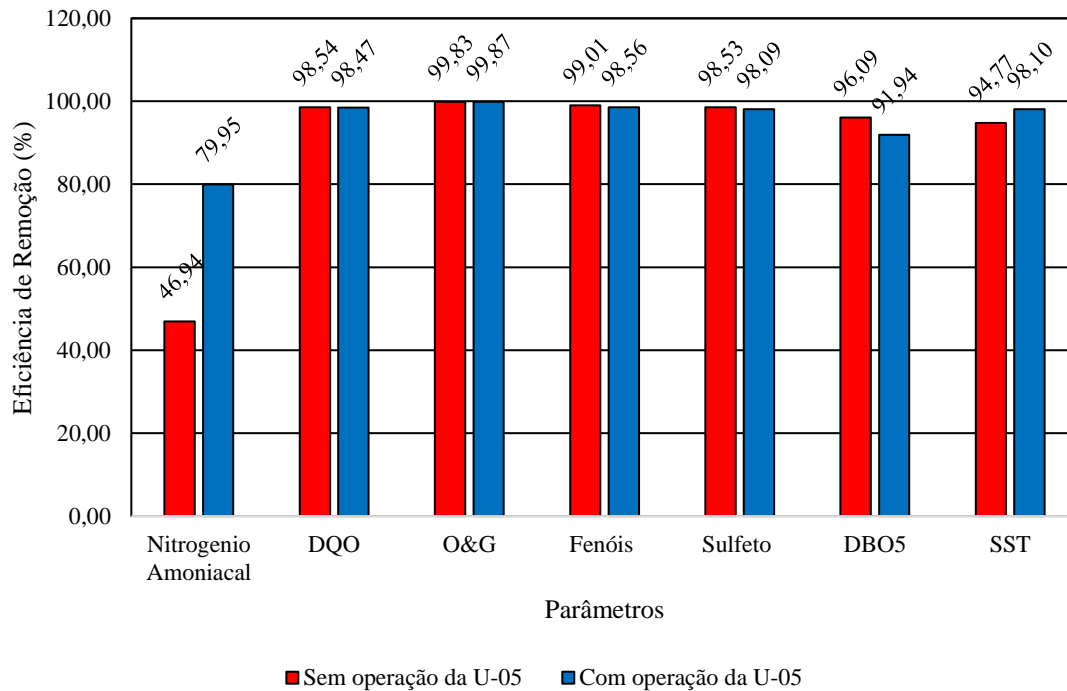


Figura 3 Eficiências de remoção sem e com operação da U-05.

Os parâmetros DQO, óleos e graxas, fenóis e sulfeto apresentaram eficiências semelhantes entre a operação sem e com a U-05, mostrando valores superiores aos reportados na literatura em relação as eficiências de remoção utilizando MBR. Vieiro et al. (2008) relatou 98% de eficiência de remoção de fenol, com afluente de alta carga orgânica utilizando sistema com MBR submerso. Alsally (2015) obteve valores de remoção de óleos e fenóis de 60% e 100%, respectivamente.

A concentração de amônia foi o parâmetro que mais apresentou resultado após implantação do sistema MBR, aproximadamente 80% de eficiência de remoção contra cerca de 47% de eficiência sem operação do sistema, um aumento de 1,7 vezes. Zhidong et al. (2009) reportou remoção de 93,7% de  $\text{NH}_3$  utilizando MBR submerso com zonas aeróbia e anaeróbia. No caso da U-05, com a operação dos MBR, não há zona anaeróbia para ocorrer a desnitrificação, sendo os reatores biológicos aeróbios as zonas responsáveis pela eficiência de remoção de amônia através da nitrificação. É possível que a desnitrificação ocorra na bacia de refrigeração, entretanto, são necessários mais dados para confirmar esta suposição, tal como avaliação da concentração de nitrato no efluente final. Em contrapartida, embora Zhidong et al. (2009) tenha relatado elevada eficiência de remoção de amônia, Alsally et al. (2015) apontou eficiência máxima de remoção de 71%, utilizando MBR submerso, enquanto Ravazi et al (2015) obteve remoção de 89% utilizando MBR submerso seguido de osmose inversa.

Em relação ao resultado de remoção de sólidos em suspensão totais (SST), esperava-se que a atuação das membranas de UF melhorasse este parâmetro e isto foi alcançado, pois com a operação da U-05 foi observado um aumento de 94,77% para 98,10% de remoção. Apesar de não ser um



aumento significativo, estes resultados também foram apresentados na literatura por Zhidong et al. (2009) que relatou remoção de 97,9%, utilizando MBR com zonas aeróbia e anaeróbia de SST e Ravazi et al. (2015) utilizando MBR submerso combinado com osmose inversa. Alshaly et al. (2015) alcançou 100% de remoção de SST em sua avaliação da concentração de SST no licor misto. Desta forma, este é um ponto a ser estudado a fim de melhorar a atuação e eficiência dos MBRs na empresa A em relação ao parâmetro SST.

Ressalta-se que alguns parâmetros apresentaram dados de entrada distintos ao se comparar Entrada 1 e Entrada 2, tais como DQO, óleos e graxas, sulfeto e SST. Isso mostra a grande variabilidade da água residuária a ser tratada, devido aos diferentes processos produtivos que existem na refinaria. Para reduzir essa variabilidade, sugere-se pré-tratamentos nas saídas das unidades de processo, reduzindo a caracterização do processo de tratamento *end of pipe*. Além de alterações nos próprios processos, a fim de reduzir a geração de efluentes com carga contaminante exacerbada. Outra possibilidade, é a utilização de uma lagoa de equalização com tempo de retenção hidráulico maior, a fim de amortecer os picos de concentração e vazão do afluente.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o uso de biorreatores com membranas no tratamento de efluentes líquidos de uma refinaria de petróleo. Observou-se que a operação da unidade de MBR, mostrou-se eficiente para remoção do parâmetro nitrogênio amoniacal ao apresentar um aumento de 1,7 vezes na remoção deste contaminante, comparativamente somente a atuação das lagoas de bio-oxidação. Ademais, os resultados discutidos demonstraram aplicação promissora dos sistemas de MBRs para tratamento de águas residuárias de refinaria de petróleo. Destaca-se ainda que, estudos futuros devem ser direcionados à mitigação do *biofouling* das membranas do biorreator e exploração de novas configurações dos biorreatores com membranas a fim de suplantar as principais limitações do sistema.

#### REFERÊNCIAS

- Alsalhy, Q. F., Almukhtar, R. S., Alani, H. A. (2015). Oil Refinery Wastewater Treatment by Using Membrane Bioreactor (MBR). **Arabian Journal for Science and Engineering**, 41(7), 2439–2452. doi:10.1007/s13369-015-1881-9
- Brasil. (2011). Resolução **CONAMA n° 430/2011** – Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Data da legislação: 13/05/2011 - Publicação DOU n° 92,

de 16/05/2011, 89 p. Disponível em:

<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> Acesso em: 05 Mar. de 2019.

Gede Wenten, I., Friatnasary, D. L., Khoiruddin, K., Setiadi, T., Boopathy, R. (2019). Extractive membrane bioreactor (embr): recent advances and applications. **Bioresource Technology**, 122424. doi:10.1016/j.biortech.2019.122424

Goswami, L., Vinoth Kumar, R., Borah, S. N., Arul Manikandan, N., Pakshirajan, K., Pugazhenth, G. (2018). Membrane bioreactor and integrated membrane bioreactor systems for micropollutant removal from wastewater: A review. **Journal of Water Process Engineering**, 26, 314–328. doi:10.1016/j.jwpe.2018.10.024

Ma, J., Dai, R., Chen, M., Khan, S. J., Wang, Z. (2018). Applications of membrane bioreactors for water reclamation: micropollutant removal, mechanisms and perspectives. **Bioresource Technology**. doi:10.1016/j.biortech.2018.08.121

Maaz, M., Yasin, M., Aslam, M., Kumar, G., Atabani, A. E., Idrees, M., ... Kim, J. (2019). Anaerobic membrane bioreactors for wastewater treatment: Novel configurations, fouling control and energy considerations. **Bioresource Technology**. doi:10.1016/j.biortech.2019.03.061

Moser, P. B., Ricci, B. C., Reis, B. G., Neta, L. S. F., Cerqueira, A. C., Amaral, M. C. S. (2018). Effect of MBR-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV Hybrid pre-treatment on nanofiltration performance for the treatment of petroleum refinery wastewater. **Separation and Purification Technology**, 192, 176–184. doi:10.1016/j.seppur.2017.09.070

Razavi, S. M. R., & Miri, T. (2015). A real petroleum refinery wastewater treatment using hollow fiber membrane bioreactor (HF-MBR). **Journal of Water Process Engineering**, 8, 136–141. doi:10.1016/j.jwpe.2015.09.011

Shokrollahzadeh, S., Azizmohseni, F., Golmohammad, F., Shokouhi, H., Khademhaghighat, F. (2008). Biodegradation potential and bacterial diversity of a petrochemical wastewater treatment plant in Iran. **Bioresource Technology**, 99(14), 6127–6133. doi:10.1016/j.biortech.2007.12.034

Stepnowski, P., Siedlecka, E. M., Behrend, P., Jastorff, B. (2002). Enhanced photo-degradation of contaminants in petroleum refinery wastewater. **Water Research**, 36(9), 2167–2172. doi:10.1016/s0043-1354(01)00450-x

Veronese, C. G. **Estudo de tratabilidade dos efluentes da refinaria do vale do Paraíba (REVAP)**. 2013. 282 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/810> Acesso em: 08 de Jun. 2019.

Viero, A., Demelo, T., Torres, A., Ferreira, N., Santanna Jr, G., Borges, C., Santiago, V. (2008). The effects of long-term feeding of high organic loading in a submerged membrane bioreactor treating oil

refinery wastewater. **Journal of Membrane Science**, 319(1-2), 223–230.

doi:10.1016/j.memsci.2008.03.038

Zhidong, L., Na, L., Honglin, Z., Dan, L. (2009). Study of an A/O Submerged Membrane Bioreactor for Oil Refinery Wastewater Treatment. **Petroleum Science and Technology**, 27(12), 1274–1285.

doi:10.1080/10916460802455228