

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE BIORREATORES COM MEMBRANAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE INDUSTRIAL COM ENFOQUE NA VIABILIDADE DE REUSO

DÉBORAH DE FARIA BRASIL

deborahbrasil@poli.ufrj.br

**AValiação DA Eficiência DE Biorreatores com Membranas NO
Tratamento DE Efluente Industrial com Enfoque Na Viabilidade
DE Reuso**

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência do sistema biológico de tratamento de efluentes de uma fábrica de borracha nitrílica, já em operação, com foco na viabilidade de reuso do efluente tratado através da caracterização física e química do efluente tratado pelo período de um ano, promovendo a avaliação do sistema de tratamento de efluentes utilizado pela empresa. O trabalho também inclui a realização de um diagnóstico dos parâmetros do sistema MBR utilizado, verificando possíveis melhorias. De acordo com as características do efluente tratado atual, serão verificados possíveis usos reutilizáveis, propondo tecnologias adicionais para polir o efluente tratado para reutilização em aplicações mais nobres. Através de uma avaliação em escala de bancada, será ainda observado o desempenho da aplicação de osmose reversa como polimento para o efluente tratado destinado a essas aplicações. Assim, através do balanço hídrico da empresa, serão avaliados os diferentes cenários do impacto causado pela reuso de seu efluente tratado.

PALAVRAS-CHAVE: Biorreatores; MBR; Efluente Industrial; Osmose Inversa; Reuso.

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF BIORREATORS WITH MEMBRANES
IN THE TREATMENT OF INDUSTRIAL EFFLUENT WITH A FOCUS ON THE
VIABILITY OF REUSE**

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the efficiency of the biological effluent treatment system of a nitrile rubber factory already in operation, focusing on the feasibility of reuse of the treated effluent through the physical and chemical characterization of the effluent treated by a period of one year, promoting the evaluation of the effluent treatment system used by the company. The work also includes the realization of a diagnosis of the parameters of the MBR system used, verifying possible improvements. According to the characteristics of the current treated effluent, possible reusable uses will be verified, proposing additional technologies to polish treated effluent for reuse in nobler applications. Through a bench scale evaluation, the performance of the reverse osmosis application as polishing for the treated effluent destined to these applications will be observed. Thus, through a company's water balance, the different scenarios of the impact caused by the reuse of the treated effluent will be evaluated.

PALAVRAS-CHAVE: Bioreactors; MBR; Industrial Wastewater; Reverse Osmosis; Reuse.

1. Introdução

A água é um recurso natural indispensável à manutenção da vida. Os problemas de escassez deste valioso recurso estão a cada dia mais frequentes, contrariando o conceito sobre o qual grande parte da humanidade baseou-se durante milhares de anos, de que os recursos hídricos constituíam uma fonte inesgotável, culminando com o uso irrestrito e irresponsável deste recurso.

A disponibilidade de água natural, em quantidade e qualidade suficiente para atendimento das demandas atuais e futuras tem imposto um grande desafio a todos que dependem deste recurso essencial não só a vida, mas também ao desenvolvimento de diversas atividades, como as industriais, demandando urgência no gerenciamento dos recursos hídricos.

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade de recursos hídricos, apresentando aproximadamente 13% de toda a reserva de água doce no planeta (MIERZWA & HESPANHOL, 2005). No entanto, dentro do território nacional, a distribuição destes recursos é desigual, com regiões que dispõem com abundância e outras que sofrem com a escassez da água. De acordo com Mancuso e Santos (2003), dos 8% da reserva mundial de águas doces do país, 80% encontram-se na Região Amazônica, e os 20% restantes concentram-se nas regiões onde vivem 95% da população brasileira.

Associado a crise hídrica, a alteração causada no ciclo natural das águas em função da captação de água de fontes superficiais e subterrâneas e o lançamento de efluentes com concentrações superiores às passíveis de serem auto depuradas pelos corpos hídricos tem ocasionado a degradação, por vezes, irreversível dos mananciais (MORUZZI, R. B., 2008). A poluição das fontes disponíveis é agravada ainda pela insuficiência de investimentos em coleta, tratamento e disposição final adequados de efluentes líquidos e resíduos sólidos, e pela falta de controle e fiscalização sobre esse aspecto (LIRA, D. C. B., 2006).

A partir da manifestação dos problemas relacionados à escassez de água e à poluição dos corpos hídricos, principalmente nos grandes centros urbanos, onde a demanda é ainda mais intensiva, os diversos setores econômicos cujas atividades são dependentes da utilização de água, demonstraram um maior interesse sobre este recurso, tendo sido ainda motivados pelas políticas federais e estaduais sobre o seu gerenciamento.

Além disso, as legislações ambientais que discorrem acerca dos padrões de lançamento apresentam-se cada vez mais restritivas, o que tem levado à adoção de estratégias mais eficientes sobre a gestão de águas e efluentes. Dentro do âmbito deste novo molde de gerenciamento, despontam novas opções e soluções a fim de racionalizar o consumo e proporcionar autonomia no abastecimento. E neste cenário, o reúso de águas residuárias é uma importante alternativa para a diminuição do consumo de água na cadeia produtiva e consequentemente, dos efluentes descartados nos corpos hídricos (PEIXOTO, T.C.L.C, 2011).

O reúso consiste na recuperação de efluentes de modo a reutiliza-lo de acordo com sua qualidade final, que será determinada a partir das tecnologias de tratamento empregadas. Assim, é possível diminuir a escala do ciclo hídrico, favorecendo o balanço energético (METCALF & EDDY, 2003). De uma forma geral, o reúso pode ocorrer de forma direta ou indireta, ser de abrangência interna ou externa, para fins potáveis e não potáveis e através de ações planejadas ou não planejadas (CAMPOS, J.C., 2016).

A atividade industrial é intensivamente dependente do uso de água, sendo esta um insumo básico em diversos processos industriais. Seja pela demanda de água ou pelo impacto

decorrente do lançamento de seus efluentes, esta dependência torna indispensável ao setor a adoção de práticas que resultem em um uso racional e eficaz deste recurso.

Diante deste cenário, a reutilização de efluentes tratados aparece como uma interessante alternativa sustentável ambiental e economicamente, tendo em vista os mecanismos de outorga e de cobrança pela utilização da água no Brasil, conforme estabelecido pela PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9433/1997) (POMBO, F.R., 2011).

Essa reutilização associada à conservação da água consiste na gestão da demanda a partir da utilização de fontes alternativas e na redução da captação de volumes de água através da otimização de seu uso (FIRJAN, 2015).

De acordo com MAGRINI & SANTOS (2011), a agregação de valor econômico ao recurso água, estabelecido através da cobrança pelo seu uso, é capaz de estabelecer condições de equilíbrio entre sua oferta e demanda, sendo ainda o instrumento de outorga responsável por assegurar o direito à água, por período determinado, com estabelecimento da vazão com a qual será captada e da aplicação a qual será destinada.

No entanto, para alguns segmentos industriais, como o petroquímico, sobre o qual será abordado no presente trabalho, o valor da cobrança da água atualmente em vigência não chega a constituir um fator motivador para o reúso, tendo a outorga e a escassez, impactos mais marcantes para estímulo desta atividade (PERES, 2003).

Neste cenário, o reúso aparece como uma medida atrativa, ambiental e economicamente, já que apresenta custos de implantação e de operação inferiores aos relacionados à captação e tratamento de água bruta e também aos custos referentes à compra de água de empresas de saneamento.

A qualidade do efluente tratado final é determinante na aplicação de seu reúso. Por isso, as tecnologias selecionadas para o tratamento devem ser avaliadas de acordo com a finalidade para a qual se deseja reusar.

Desta forma, os processos de separação por membranas representam uma excelente alternativa para o tratamento de efluentes, principalmente quando o objetivo final visa o reúso (WINTGENS et al., 2005).

Dentre esses processos, os Biorreatores com Membranas Submersas – MBR (Membrane Biorreactor) são atualmente tecnologias promissoras para melhoria do tratamento viabilizando o reúso do efluente tratado (MELINA et al., 2006; SANTOS et al., 2011).

Trata-se da associação de um processo biológico, geralmente um sistema de lodos ativados e um processo de separação por membranas de Microfiltração (MF) ou Ultrafiltração (UF). Apresentam diversas vantagens em relação ao sistema convencional de lodo ativado, dentre as quais a excelente qualidade do efluente e menor demanda de área física necessária para implantação do sistema.

2. Justificativa

A otimização do uso de recursos hídricos tem sido um desafio enfrentado pela indústria em seus diversos segmentos, exigindo além do comprometimento dos colaboradores sobre a redução de desperdícios, a busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas, tanto para os processos industriais em geral, como para os sistemas de tratamento dos efluentes gerados, a

fim de possibilitar a reutilização da água na própria cadeia de produção, reduzindo assim a demanda pela captação da água e consequentemente de seu descarte.

Dentro do processo industrial sobre o qual o projeto está sendo desenvolvido, o uso de água é extremamente intensivo, e diante do cenário hídrico atual e com projeções a um breve futuro, torna-se de extrema importância a avaliação de reúso.

Desta forma, está sendo realizada a avaliação do sistema de tratamento de efluentes de biorreatores com membranas, já em funcionamento, com enfoque na viabilidade de reúso do efluente tratado, indicando as possíveis finalidades de uso a partir da qualidade do efluente, e propostas de alternativas para outras possíveis finalidades.

3. Metodologia

O efluente objeto do presente estudo é proveniente da empresa Nitriflex S/A Indústria e Comércio, produtora de polímeros especiais, especialmente borrachas nitrílicas e resinas de alto teor de estireno. A empresa apresenta uma linha de produção diversificada em que cada produto tem suas características, reagentes e processos de produção bem distintos e que, portanto, produzem efluentes com diferentes parâmetros a serem tratados.

3.1. Estação de Tratamento de Efluentes

A Estação de Tratamento de Efluentes líquidos industriais da Nitriflex iniciou sua operação em 2012, tendo sido dimensionada inicialmente para vazão de 60m³/h, destinando-se ao processamento do efluente líquido industrial proveniente dos processos produtivos da Nitriflex cuja coagulação dos látices e lavagem de equipamentos e tubulações são as principais origens.

3.1.1 Pré-Tratamento

Em sua configuração atual, o processo de tratamento de efluentes inicia-se em um pré-tratamento, onde o efluente proveniente de toda a área industrial é direcionado a um tanque onde passa por uma peneira rotativa, destinada a promover a separação de sólidos grosseiros e material flotado no processo de recalque entre o poço da peneira e os separadores primários, tais como grumos de borracha e coágulos de tamanho maior.

Desse tanque o efluente bruto é bombeado para um sistema de canaletas seguindo por gravidade em direção ao tanque de recalque da ETE. Neste momento o efluente apresenta faixa de pH predominantemente na região ácida (pH <5), observando-se, porém, grande variação de pH devido à diversidade de sua procedência (coagulação e secagem de resinas e borrachas das áreas de acabamento e de limpeza de reatores; vasos de expansão; torres e tanques das áreas de reação e armazenamento de látex).

A primeira etapa do tratamento é a correção do pH para a faixa entre 8,0 – 9,0 a fim de prepará-lo para as próximas etapas do tratamento. A correção de pH é realizada através da adição de soda cáustica regulada automaticamente, mantendo o efluente sob agitação.

3.1.2 Tratamento Primário

Após sua neutralização, o efluente bruto é transferido por bombeamento à vazão constante do tanque de recalque para a primeira etapa do tratamento físico-químico, referente ao processo de tratamento primário, que compreende o processo de coagulação e floculação. Antes de ingressar na câmara de coagulação do tratamento físico-químico, é feita dosagem em linha de sulfato de alumínio a montante do misturador estático que promove mistura rápida necessária para a coagulação de parte do material solúvel e das emulsões e suspensões presentes no efluente. Na câmara de coagulação a suspensão recebe solução 0,2% de polímero não-iônico e é mantida sob agitação lenta, o que promove a floculação das partículas formadas na coagulação pela ação da aglomeração do polímero nos coágulos. O lodo decantado nos dez compartimentos do fundo da câmara do separador lamelar primário do tratamento físico-químico é transferido para um tanque por gravidade pela abertura escalonada de válvulas de drenagem, ajustadas por um temporizador individual ajustado para tempo de abertura e tempo de intervalo de abertura entre uma válvula e outra. Desse tanque, o lodo é transferido para um adensador, de onde posteriormente é encaminhado para centrifugação.

3.1.3 Tratamento Secundário

O efluente clarificado sobrenadante é recolhido acima das lamelas por duas calhas com vertedores triangulares no topo da câmara de separação do separador físico químico, de onde segue por gravidade através de uma tubulação de 6” para um tanque de alimentação dos reatores anóxicos, recebendo antes ácido fosfórico em linha para balanceamento da relação DBO:N:P. Partículas maiores que 1 mm são removidas desse efluente antes de ingressar neste tanque por caixas com tela de 18 mesh onde o efluente cai para evitar que essas partículas possam vir a ocluir o espaço entre as membranas dos módulos de filtração dos MBR's, o que poderia implicar na inutilização dessas membranas pela falta de ar do fluxo cruzado que é impedido pelo acúmulo dessas partículas de passar entre as membranas para promover o fluxo cruzado.

Desse tanque, o efluente clarificado é transferido para cada uma das linhas de tratamento biológico, etapa secundária do tratamento, por uma das bombas independentes (cada uma abastece uma linha de tratamento biológico), já peneirado e com fosfato para o tratamento biológico subsequente - nitrificação (conversão da amônia em nitrito), realizada nos reatores aeróbios e desnitrificação (conversão do nitrito à nitrogênio gasoso), realizada sob condições anóxicas.

O tratamento biológico na Estação de Tratamento de Efluente da Nitriflex baseia-se no Método de Ludzack-Ettinger Modificado MLE (aeróbico com fase pré-anóxica), conforme ilustração esquemática representada na Figura 1 abaixo, e inicia-se nos reatores anóxicos que recebem o efluente clarificado proveniente do tratamento físico-químico assim como a recirculação do lodo biológico ativado dos reatores aeróbios. É feita a transferência para os reatores aeróbios,

onde sob presença de oxigênio dissolvido, os microrganismos de natureza aeróbia presentes em seu lodo ativado dão prosseguimento ao tratamento.

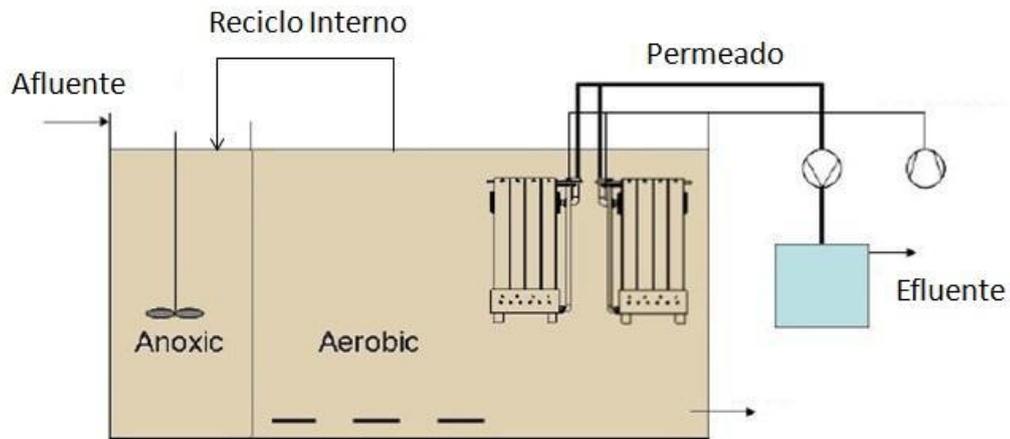


Figura 1 – Ilustração esquemática do Método de Ludzack-Ettinger Modificado associado com Sistema de membranas MBR. (Fonte: Autor, 2017)

O lodo que vai sendo concentrado dentro dos reatores aeróbios é descartado periodicamente para um adensador, de onde segue para centrifugação.

As membranas MBR, compostas por dez módulos de membranas que são confeccionadas em PES (Poli-Éter Sulfona), que apresentam área de filtração de 400 m², com malha de abertura de 0,04 µm, envolvidos por câmara de proteção executada em PVC/PE, completam o ciclo de tratamento separando o efluente em uma corrente de permeado de alta qualidade, que segue para descarte no corpo receptor.

4. Apresentação e Análise dos Resultados

A partir de caracterização do efluente tratado da Nitriflex, através de análises físico-químicas e biológicas, a fim de verificar sua qualidade com vistas ao seu reuso, apresentam-se os resultados expressos abaixo.

O efluente tratado foi avaliado dentro de um período de 18 meses. A vazão de tratamento expressa em metros cúbicos por dia encontra-se expressa no Gráfico 1 abaixo:

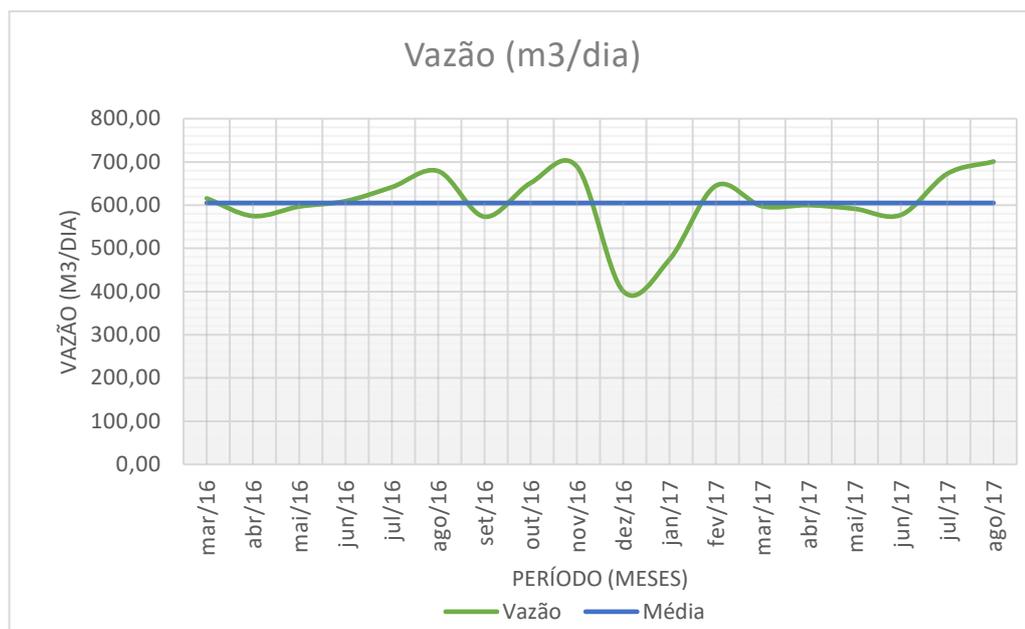


Gráfico 1 – Vazão de geração de efluente tratado

Os resultados das análises referentes aos parâmetros de controle de descarte e do processo encontram-se dispostos nas Tabelas abaixo.

Tabela 1 – Resultados efluente tratado

	pH	T°	DBO Remoção(%)	DQO _(e)	RNFT	MS	MBAS	Condutividade	N _{NH4+}	N _{TOTAL}
ago/17	6,91	25,72	98,49	26,20	2,00	0,20	0,16	2229,14	0,27	6,43
jul/17	6,86	21,70	98,19	26,50	2,00	0,20	0,20	2154,31	0,39	6,35
jun/17	7,01	21,32	96,13	25,00	2,00	< 0,2	0,23	2593,00	0,27	3,37
mai/17	7,29	24,93	99,07	25,33	2,00	< 0,2	0,19	2621,60	0,06	1,80
abr/17	7,35	26,60	96,17	25,25	2,00	< 0,2	0,19	2350,40	0,79	6,35
mar/17	6,92	26,62	98,66	28,80	2,00	< 0,2	0,11	2215,37	0,50	4,20
fev/17	7,27	28,05	98,72	28,00	2,00	< 0,2	0,14	2298,74	0,20	5,20
jan/17	6,98	30,90	99,47	30,75	2,00	< 0,2	0,15	2323,90	0,70	3,45
dez/16	7,00	28,23	97,57	50,50	2,00	< 0,2	0,11	1975,41	0,20	8,70
nov/16	7,07	27,80	98,22	27,40	2,00	< 0,2	0,23	2059,68	0,34	6,88
out/16	7,95	25,40	99,20	25,00	2,00	< 0,2	0,10	2099,25	0,14	1,55
set/16	6,49	24,84	99,59	27,00	2,00	< 0,2	0,11	2168,69	1,39	7,30
ago/16	7,00	26,52	99,36	40,80	2,00	< 0,2	0,10	2212,18	0,13	6,27
jul/16	6,62	26,55	94,58	82,00	1,75	< 0,2	0,12	2297,22	0,59	7,10
jun/16	6,52	25,62	96,53	87,80	2,00	< 0,2	0,50	2105,30	0,28	5,73
mai/16	6,75	26,40	96,23	52,25	2,00	< 0,2	0,46	2454,14	0,10	3,30
abr/16	7,23	26,85	98,99	34,50	2,75	< 0,2	0,22	2314,14	0,36	1,80
mar/16	7,02	33,00	99,01	40,20	2,00	< 0,2	0,18	2397,87	0,49	2,78
Média	7,01	26,50	98,01	37,96	2,03	0,20	0,19	2270,57	0,40	4,92
Padrão	5 - 9	40,00	> 90%	250,00	-	1,00	2,00	-	5,00	10,00

Tabela 2 – Resultados efluente tratado (cont.)

	OG	FENÓIS	OG	Cl	Fe	Zn	Al	S	SO ₃	UTp	HHT
ago/17	10,60	0,12	< 10,00	0,20	0,24	0,07	0,26	0,03	1,00	1,00	0,00
jul/17	10,00	0,10	< 10,00	0,20	0,12	0,09	0,19	0,02	0,50	2,00	1,00
jun/17	< 10,00	0,15	< 10,00	0,28	0,23	0,11	0,33	0,06	< 0,5	1,00	< 2,0
mai/17	< 10,00	0,11	< 10,00	0,10	0,26	0,09	0,27	0,04	< 0,5	1,00	< 2,0
abr/17	< 10,00	0,10	< 10,00	0,23	0,11	0,04	0,48	0,04	< 0,5	1,00	< 2,0
mar/17	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,13	0,11	0,15	0,01	< 0,5	1,00	< 2,0
fev/17	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,18	0,07	0,43	0,63	0,02	2,00	< 2,0
jan/17	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,70	0,14	0,49	0,02	< 0,5	1,00	< 2,0
dez/16	< 10,00	0,11	< 10,00	< 0,2	0,76	0,19	0,18	0,02	< 0,5	2,00	< 2,0
nov/16	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,25	0,24	0,32	0,01	< 0,5	1,00	< 2,0
out/16	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,72	0,07	0,57	0,02	< 0,5	1,00	< 2,0
set/16	< 10,00	0,11	< 10,00	< 0,2	0,14	0,05	0,35	0,03	< 0,5	1,00	< 2,0
ago/16	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,11	0,05	0,11	0,04	< 0,5	1,00	< 2,0
jul/16	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,76	0,23	0,45	0,03	0,75	1,00	< 2,0
jun/16	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,30	0,30	0,13	0,50	0,04	1,00	< 2,0
mai/16	< 10,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,47	0,38	0,34	0,03	0,88	1,00	1,00
abr/16	< 10,00	0,12	< 10,00	< 0,2	0,07	0,05	0,16	0,02	< 0,5	1,00	< 2,0
mar/16	8,00	0,10	< 10,00	< 0,2	0,84	0,11	0,35	0,01	1,00	1,00	1,00
MÉDIA	9,53	0,10	< 10,00	0,20	0,42	0,15	0,31	0,11	0,51	1,15	1,85
PADRÃO	20,00	0,20	20,00	5,00	15,00	1,00	3,00	1,00	1,00	8,00	-

Essas análises foram realizadas por laboratórios credenciados pelo órgão de controle ambiental do Rio de Janeiro.

Paralelamente ao processo de caracterização físico-química do efluente através destas análises, estão sendo realizados testes SDI e MFI, parâmetros de avaliação de incrustação, utilizados para avaliar a viabilidade de aplicação de membrana de osmose inversa para polimento do efluente visando aplicações mais nobres.

5. Resultados obtidos e esperados

Os resultados obtidos até o presente momento demonstram a possibilidade de reuso industrial para fins de lavagem de pisos e jardinagem, não apresentando o efluente tratado qualidade suficiente para aplicações mais nobres na produção como aplicação em caldeiras, sistemas de carregamento e carregamento de reatores. No entanto, espera-se que através de tecnologias como osmose inversa, seja possível reusar o efluente tratado da empresa para tais fins. O reuso do efluente tratado propõe a redução da demanda de captação de água bruta, reduzindo assim os custos com a aquisição e despejo de água, e minimizando os impactos ambientais decorrentes destas atividades.

7. Referências

- CAMPOS, J.C., 2016, Notas de Aula – Reúso de Águas e Efluentes Industriais, UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- COUTO, J.M.S., Estudos de Tratabilidade do Efluente da Indústria Petroquímica com vistas ao reúso, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biocombustível e Petroquímica), UFRJ – EQ, 2014, 98f.
- FIRJAN, Manual de Conservação e Reuso de Água na Indústria, Rio de Janeiro, 2015.
- LIRA, D.C.B, Estudo de Degradação Fotoquímica para reúso de águas de processo em complexo industrial petroquímico, Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006, 165p.
- MAGRINI, A., SANTOS, M.A., “O Modelo Brasileiro de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. In: Magrini, A., Santos, M.A. (orgs.), Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, pp. 101-113; 2001.
- MANCUSO, P.C.S., SANTOS, H.F., Reúso de Água, São Paulo, Ed. Barueri: Manole, 2003, 579p.
- MELINA, T.; JEFFERSONB, B.; BIXIOC, D.; THOEYEC, C.; DE WILDEC, W.; DE KONINGD, J.; VAN DER GRAAF, J.; WINTGENSA, T., Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse. *Desalination*, v. 187, p. 271–282., 2006.
- METCALF & EDDY, *Wastewater Engineering – Treatment and Reuse*. New York, 4th Edition, 2003.
- MIERZWA, J.C., O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – estudo de caso da Kodak Brasileira, Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade de São Paulo, 2002, 367p.
- MIERZWA, J.C., HESPANHOL, I., Água na indústria - Uso racional e reúso. São Paulo, Oficina de Textos, 2005.
- MORUZZI, Rodrigo Fraga. Reuso de água no contexto da gestão de recursos hídricos: impacto, tecnologias e desafios. *OLAM – Ciência & Tecnologia*. Rio Claro/SP. Ano VIII, vol. 8, n.3, p 271, 2008.
- PEIXOTO, T.C.L.C., Reuso de água: Comparação entre os Métodos DFA, Programação Linear e Programação Não-Linear, Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- PERES, A. L. Avaliação dos impactos da Política Nacional de Recursos Hídricos na gestão ambiental da água e efluentes na indústria. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- POMBO, F.R., Gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo: desafios e oportunidades de racionalização, Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2011, 152p.

- SANTOS, A.; MA, W.; JUDD, S.J., Membrane bioreactors: Two decades of research and implementation. *Desalination*. 2011, v. 273.
- WINTGENS, T.; MELIN, T.; SCHÄFER, A. I.; MUSTON, M.; BIXIO, D.; THOEYE, C. (2005). The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse, *Desalination*, v. 178, p. 1-11.