

II-562 – COMPARAÇÃO ENTRE UMA PLANTA COM FÍSICO-QUÍMICO CONVENCIONAL E UMA PLANTA COM MEMBRANAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES OLEOSOS DE POSTOS DE GASOLINA VISANDO O REUSO DA ÁGUA TRATADA EM LAVAGEM DE CARROS

Cecília Vilani⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais (PEQ/UFU). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (PEQ/UFU). Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEQ/COPPE/UFRJ). Professora do curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e coordenadora do LAPAS (Laboratório de Processos Avançados de Separação).

Juliana Paula Faria⁽²⁾

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Engenheira da Ipiranga S/A.

Roberto Bentes de Carvalho⁽³⁾

Engenheiro Química pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEQ/COPPE/UFRJ). Diretor da PAM Membranas Seletivas. Professor do curso de Engenharia Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Endereço⁽¹⁾: LAPAS, Rua Marquês de São Vicente, 225, Sala L 233, Prédio Cardeal Leme - Gávea – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22451-900 - Brasil - Tel: (21) 3527-2204 - e-mail: cvilani@puc-rio.br

RESUMO

Existe, no Rio de Janeiro, a Lei Estadual N° 6034 de 08 de setembro de 2011, que fixa a obrigatoriedade dos estabelecimentos que realizam a lavagem de veículos a instalarem equipamentos de tratamento e reuso de água usada nesta tarefa. A instalação de sistemas de reutilização de água em postos de gasolina possui várias etapas sequenciais, como o tratamento físico-químico, decantação, filtração de areia, carvão ativado e adição de antiespumantes, uma vez que o efluente gerado apresenta diversos agentes, como óleos e graxas, metais pesados, sólidos em suspensão, surfactantes e materiais orgânicos. Uma alternativa aos processos convencionais é a utilização de processos de avançados de separação que empregam membranas como barreira física de separação. Tal concepção de processo diminui o número de estágios de tratamento, o consumo com químicos, possui maior estabilidade operacional e produz água que atenda as normas de qualidade para água não potável de reuso. Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo de caso de comparação entre uma planta de tratamento de físico-químico convencional, com sucessivos processos de sedimentação, filtros de areia e carvão ativado, e uma planta com membranas de microfiltração, seguido de carvão ativado como polimento final. Foram analisados os dados de turbidez, análise de cor, COT (carbono orgânico total) e pH. Os resultados mostram que o tratamento do efluente oleoso do posto de gasolina tratado por membranas, seguido de filtração por carvão ativado, remove totalmente a turbidez e a cor, apresentando cerca de 98,0% de remoção de carbono orgânico total. O módulo de membrana utilizado no tratamento de efluentes oleosos apresentou 89% de recuperação da permeabilidade após passar pela limpeza química.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes oleosos, reuso de água, membranas, microfiltração, físico-químico.

INTRODUÇÃO

Inúmeros estudos apontam para a escassez de água ou para o uso indiscriminado dos recursos hídricos disponíveis. Para conservação desse recurso natural, faz-se necessário o desenvolvimento de políticas para o controle do uso da água e para o lançamento dos efluentes que venham garantir a qualidade da água e que o volume disponível não seja inferior à quantidade consumida. Algumas maneiras apropriadas para diminuir o impacto devido ao alto consumo de água, e sua consequente déficit de água, são o seu reaproveitamento e o tratamento de efluentes gerados, em substituição da utilização de água potável. A Resolução n° 54, de 28/11/05, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabeleceu as diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável da água, determinando a água de classe I aquela que é reutilizada para fins

urbanos. Em destaque, há um grande interesse de água reutilizável na lavagem de carros, principalmente em postos de gasolina, pois se observa o grande dispêndio de água nesta tarefa. Além disso, considerável atenção tem sido dada para descarga de efluentes oleosos naqueles estabelecimentos e seus impactos ambientais. E, neste contexto, o reuso da água gerada a partir do tratamento de efluentes oleosos em postos de gasolina torna-se o objeto de estudo do presente trabalho e é o desenvolvimento métodos de tratamento é de grande interesse, uma vez que a remoção de óleos de efluentes é um importante aspecto no controle da poluição.

A composição do efluente oleoso proveniente de postos combustíveis torna-se bastante complexa, uma vez que contém óleo, graxa, partículas sólidas, carbono e asfalto, fluido hidráulico e outros. Várias técnicas são utilizadas visando à remoção de resíduos e, dentre elas, podem ser citadas as de ordem física, os processos biológicos, e também os processos físico-químicos, como: coagulação, floculação, decantação, filtração, adsorção por carvão, dentre outros. Um sistema que se destaca devido à economia de energia, seletividade, facilidade e simplicidade de operação e escalonamento é o sistema de separação por membranas (PSM). A utilização do PSM em sistemas de tratamento de água traz efluentes de boa qualidade, facilitando o seu reuso no processo e, além disso, traz melhores resultados que sistemas convencionais, pois a separação ocorre devido ao tamanho da partícula retida ser superior ao tamanho do poro da membrana e, no caso estudado, independe da composição química da partícula.

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise de desempenho de uma planta integrada utilizando módulo de membrana de microfiltração para tratamento de água de lavagem de carro proveniente de postos de combustíveis, visando reuso desta água e compará-la a uma planta de tratamento físico-químico convencional. Para isso, foi feito um estudo de caso do Posto de Combustível Freeway localizado na Barra da Tijuca – Rio de Janeiro/RJ, onde há uma estação de tratamento convencional do efluente, proveniente da limpeza de veículos automotivos. Para comparação, as etapas sequenciais do físico-químico convencional foram substituídas por um módulo de membranas de microfiltração acoplado a um filtro carvão, usado para o polimento final da água tratada.

No trabalho apresenta também o estudo fenomenológico de concentração de polarização e o efeito de incrustação (*fouling*) da membrana. Nas operações em escoamento tangencial com membranas, no caso de módulo de membranas de fibra-oca, em princípio, a polarização de concentração se estabiliza nos instantes iniciais do processamento. Entretanto, a estabilização do fluxo permeado, se chegar a ocorrer, pode demorar de minutos, horas ou até alguns dias. Esta variação continuada do fluxo permeado com o tempo e atribuída a possíveis alterações na membrana provocada pelas espécies presentes na solução processada. O conjunto dessas alterações é conhecido como incrustação (*fouling*) da membrana. A limpeza do sistema contendo o módulo de membranas foi realizada após o tratamento do efluente oleoso com o intuito de verificar os fenômenos de concentração de polarização e de incrustação.

MATERIAIS E MÉTODOS

PRIMEIRA ETAPA: COMPACTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA

No presente estudo, foi utilizado um sistema de microfiltração fornecido pela PAM MEMBRANAS SELETIVAS. A área total de permeação do módulo utilizado foi de 1,2m², com membrana na forma de fibras ocas, confeccionada a partir de poliéterimida (PEI), com filtração de fora para dentro das fibras, diâmetro médio de poros igual a 0,4 micrometros e módulos com operação pressurizada.

Para determinação da permeabilidade do módulo da membrana foi necessário que a membrana já estivesse sido compactada. A compactação consistiu na deformação da membrana devido à ação da pressão. Ou seja, colocando água previamente microfiltrada para circular pela membrana, inicialmente o fluxo de saída de água ainda não era constante com o tempo, para uma pressão constante. Por isso, foi necessário deixar tal água circulando pela membrana até que tal fluxo estivesse constante, significando então que a membrana já estava compactada. Foi estabelecida uma pressão de 1 bar para se compactar a membrana. Após obter um fluxo constante, iniciou-se o teste de permeabilidade hidráulica, que representa uma característica intrínseca das membranas, obtida pelo coeficiente angular da curva de pressão em relação ao fluxo permeado.

A partir das equações de Hagen-Poiseuille e de Kozeny-Carman, vê-se que:

$$J_P = L_P \cdot P_{TM}$$

equação (1)

onde L_P é a permeabilidade hidráulica da membrana

$$L_P = J_P / P_{TM}$$

equação (2)

Plotou-se um gráfico de pressão versus fluxo permeado e, considerando a equação (2), obteve-se a permeabilidade hidráulica do módulo de membrana.

RESULTADOS DA ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA

A Figura 1 mostra o teste de permeabilidade da membrana antes de ser utilizada no tratamento do efluente. O valor obtido foi de 87,9 L/h.m².bar.

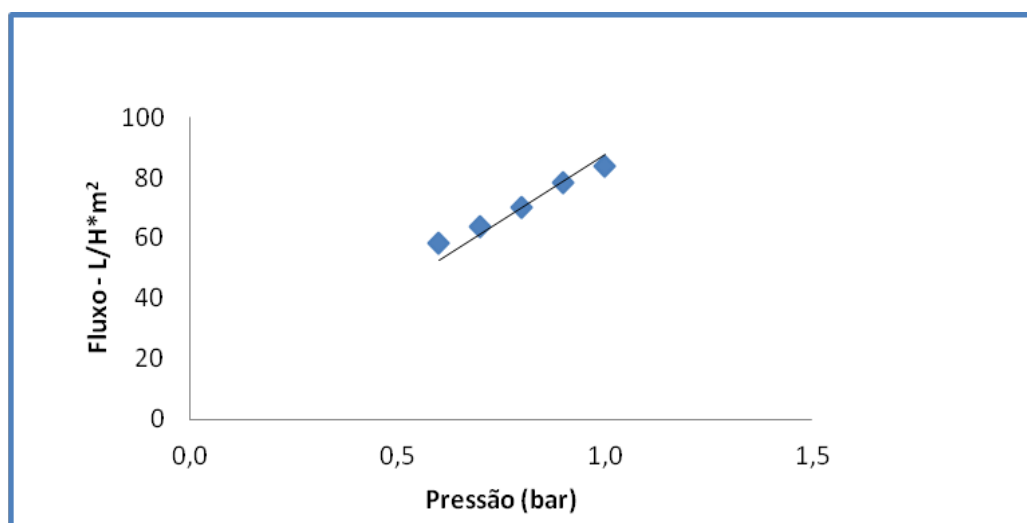


Figura 1 –Caracterização do módulo da membrana em relação à sua permeabilidade

SEGUNDA ETAPA: COMPARAÇÃO ENTRE UMA PLANTA COM FÍSICO-QUÍMICO CONVENCIONAL E UMA PLANTA COM MEMBRANAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES OLEOSOS DE POSTOS DE GASOLINA

Para comparação entre uma planta com tratamento físico-químico e uma planta utilizando membranas para tratamento de efluentes oleosos de postos de gasolina, visando o reuso da água tratada, foi feito um estudo de caso do Posto de Combustível Freeway localizado na Barra da Tijuca – Rio de Janeiro/RJ. Neste posto, existe uma estação de lavagem de veículos, contabilizando cerca de 300 veículos/dia sob o modelo de lavagem manual. A instalação do tratamento da estação de lavagem do posto segue o fluxograma representado na Figura 2.

O sistema de tratamento convencional do posto de gasolina apresenta a seguinte descrição: a água de lavagem dos veículos é armazenada em um tanque de 24m³. Ao passar pelo gradeamento, o efluente segue para caixa separadora água/óleo e depois uma bomba lança a suspensão para o tratamento primário. Um medidor de nível instalado na chamada cisterna 1 de efluente contendo óleo, que aciona automaticamente a bomba de envio do efluente para o sistema de físico-químico convencional. Os agentes físico-químicos são então adicionados diretamente na tubulação via bomba dosadora, sendo eles: o hipoclorito de sódio como agente oxidante, a correção do pH é feita com alcalinizante de carbonato de sódio, enquanto que polícloro de alumínio da marca comercial Aquafloc[®] realiza a coagulação, neutralizando as cargas das partículas suspensas e, ao adsorverem os particulados ocorre a floculação parcial. Em seguida, o produto de marca comercial Aquapol[®] é adicionado para floculação total das partículas.

Após o tratamento primário, o efluente é lançado no primeiro tanque de decantação, e o sobrenadante é então direcionado para um segundo tanque de decantação. O clarificado do segundo tanque de decantação segue para o tratamento sequencial de filtro de areia e filtro carvão. Após o passar pelos filtros, a água já está pronta para reuso e é lançada para a chamada cisterna 2 de água limpa.

O sistema de tratamento envolvendo o processo de membranas obedece ao fluxograma apresentado na Figura 3. Na instalação proposta, a água da chamada cisterna 1 de efluente oleoso é bombeada para o módulo de membrana, excluindo do processo as etapas de decantação e o tratamento físico-químico. Em seguida ao módulo de membrana, o efluente já sem material suspenso é enviado para um filtro de carvão para o polimento final da água tratada.

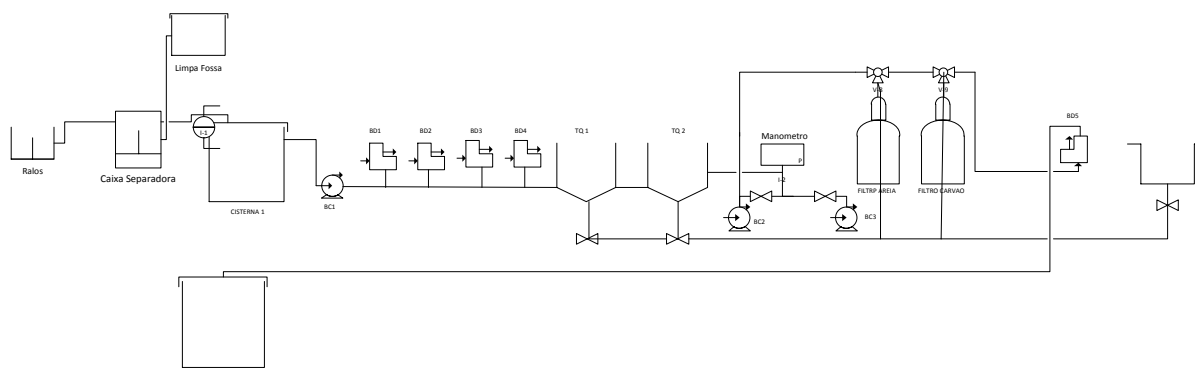


Figura 2 - Fluxograma de tratamento convencional do efluente oleoso do Posto Freeway.

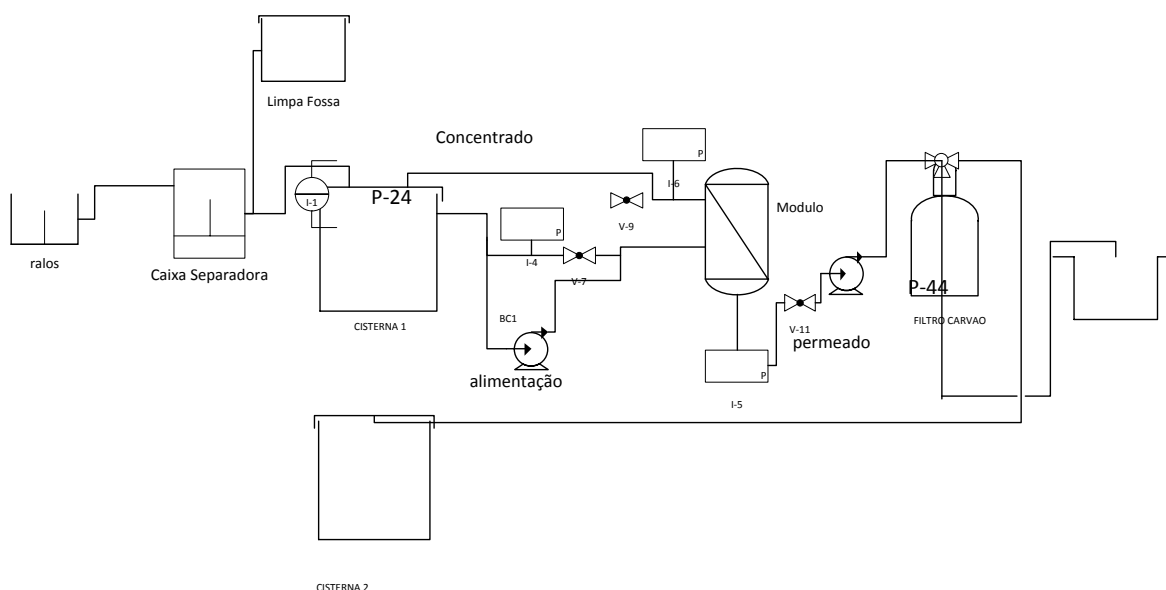


Figura 3 - Fluxograma do tratamento do efluente oleoso do Posto Freeway utilizando membranas.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

O efluente oleoso bruto do posto de gasolina apresentou os seguintes valores para os parâmetros analisados: turbidez de 828,5 uT, a cor verdadeira apresentou valor de 2675,0 uH, o pH da amostra analisada foi de 3,7 e o teor de carbono orgânico total foi de 1002,0 mg/l. Os resultados comparativos dos parâmetros analisados (turbidez, cor verdadeira, pH e COT) da água obtida após os tratamentos convencional e por microfiltração, seguida de filtração com carvão são mostrados na Tabela 1. Os resultados do tratamento físico-químico estão apresentados em estágios de tratamento, bem como o tratamento envolvendo todas as etapas do processo.

Tabela 1: Resultados obtidos das análises de turbidez, cor, COT e pH para as diferentes etapas do tratamento para os diferentes processos, convencional e com membranas.

Etapas do tratamento	Turbidez uT	% de remoção	Cor Verdadeira uH	% de remoção	COT mg/L	% de remoção	pH
Físico-químico sem sedimentação	403,0	51,4	1452,0	45,7	77,8	92,2	6,3
Físico-químico	57,9	93,0	187,0	93,0	74,2	92,5	6,6
Físico-químico + filtro de areia	52,6	93,6	142,0	94,7	74,7	92,5	
Físico-químico + filtro de areia + filtro de carvão	18,9	97,7	57,0	97,9	34,6	96,5	6,2
Microfiltração	0,2	100	37,0	98,6	96,0	90,4	3,5
Microfiltração + filtro de carvão	0,0	100	0,0	100	13,8	98,6	7,0

Comparando a amostra obtida pelas etapas de tratamento físico-químico e as etapas físico-químico mais filtro de areia, observa-se que o filtro de areia, que tem como o princípio remover sólidos em suspensão, por sua vez a turbidez, não operou em plena capacidade, mostrando então que o sistema já estava saturado.

Os resultados obtidos nas etapas de tratamento físico-químico mais o filtro de areia e nas etapas físico-químico seguido de filtro de areia e mais a filtração por carvão ativado, analisando-se o parâmetro de cor, mostram que o filtro carvão não operou com total eficiência. O filtro de carvão atua na adsorção de matéria orgânica solúvel e após longo tempo de uso as cavidades de adsorção tornam-se saturadas e não efetuando mais a remoção de cor da amostra.

Neste caso, o ajuste de pH foi feito através do tratamento físico químico da amostra. Esta regularização do pH além de trazer neutralidade ao processo, pois o uso de água com baixo pH pode vir a prejudicar a saúde dos usuários da água tratada, evita manchas na lataria dos veículos lavados.

Considerando o processo de microfiltração, verificou-se que o tratamento do efluente com membranas removeu 35% mais cor que todo o processo convencional. O valor do teor de carbono orgânico total na amostra obtida na microfiltração seguida da etapa de carvão ativado foi 33% menor do que o valor do mesmo parâmetro, considerando as etapas físico-químico seguida das filtrações com areia e carvão. Este resultado indica que o processo de membranas foi mais eficiente na remoção poluentes derivados de carbonos. Além disso, o processo de microfiltração acoplado ao filtro carvão apresentou níveis de turbidez iguais ao da água potável, enquanto o processo instalado no posto, não atinge os padrões de qualidade de turbidez exigidos na norma NBR 13969, da ABNT.

A partir da Figura 4, observa-se visualmente a diferença de qualidade da água obtida pelos processos discutidos neste trabalho. Vê-se que o sistema de microfiltração remove toda cor e turbidez, enquanto no processo convencional, mesmo considerando as etapas dos filtros de areia e carvão, a água apresenta turbidez e cor consideráveis.

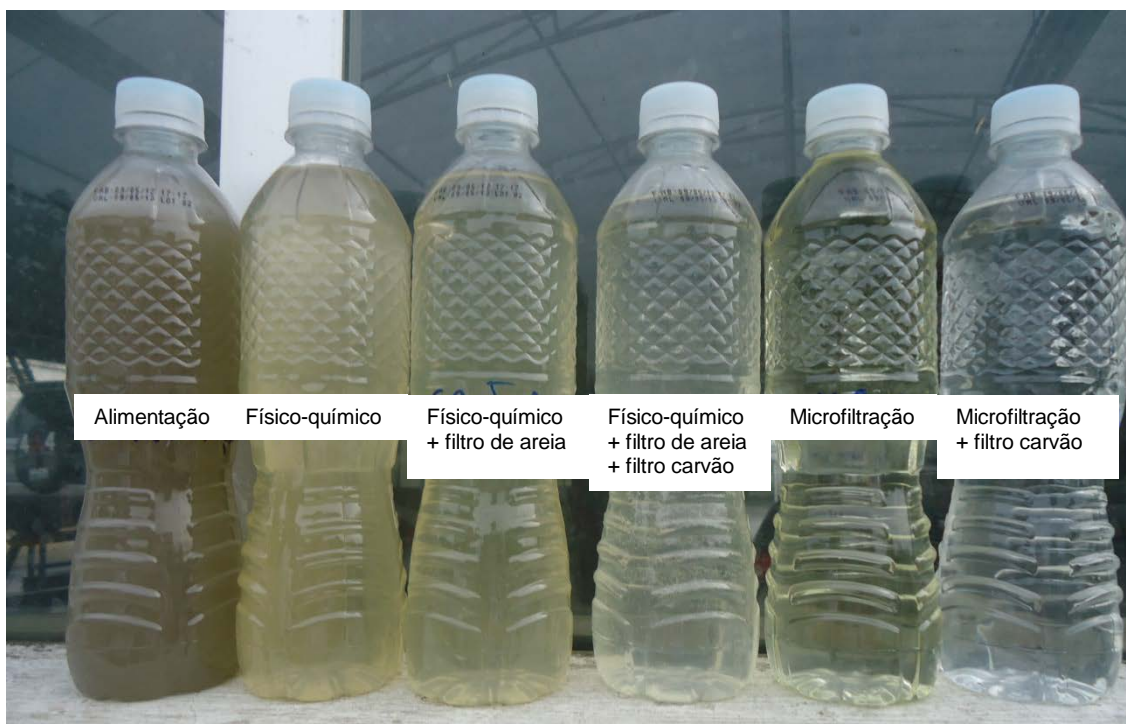


Figura 4 – Análise visual das diferentes correntes de processo geradas pelas duas concepções de tratamento estudadas.

TERCEIRA ETAPA: LIMPEZA DO MÓDULO DE MEMBRANA

A partir do gráfico mostrado na Figura 5 e considerando a equação (2), foi possível obter o valor da permeabilidade do módulo de membranas após ser utilizado nos testes de tratamento de efluente oleoso no posto de gasolina. O valor obtido de permeabilidade, L_p , foi de $68,4 \text{ L/h.m}^2.\text{bar}$, observando-se a queda de 22,2% no valor da permeabilidade inicial da membrana. A diferença de permeabilidade da membrana em relação à inicial da mesma está ligada ao fenômeno de polarização da concentração, uma vez que o efluente é basicamente composto por sólidos em suspensão.

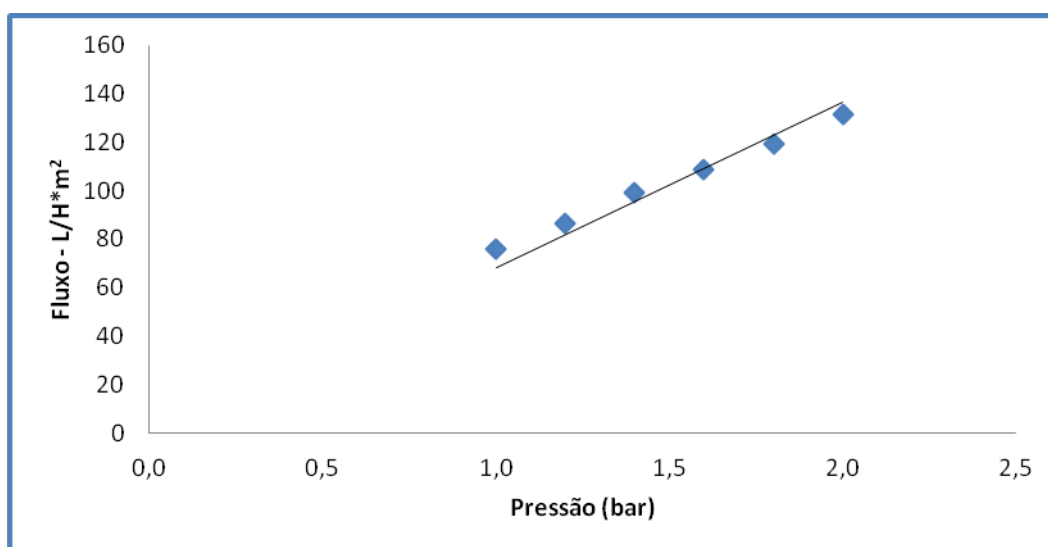


Figura 5 – Permeabilidade do módulo de membrana após utilizado no processo de tratamento do efluente oleoso.

A limpeza do sistema foi realizada após o término do procedimento de tratamento do efluente, visando remover o acúmulo de lodo formado da superfície da membrana. O sistema foi lavado com água microfiltrada durante 30 minutos. Após a limpeza era determinada a permeabilidade da membrana (equação 2) e comparado este valor ao da permeabilidade inicial da membrana. Em caso de valores próximos, o procedimento de limpeza era considerado satisfatório. Caso não houvesse a recuperação da permeabilidade inicial da membrana apenas com água, era necessária a limpeza química. Foram usados como agentes de limpeza, separadamente, solução de hidróxido de sódio (NaOH) em solução 5 ppm e após o hidróxido de sódio e peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Após a limpeza química do sistema, houve a recuperação de 14,2% na permeabilidade da membrana, obtendo-se um valor de 78,1 L/h.m².bar, conforme mostrado na Figura 6.

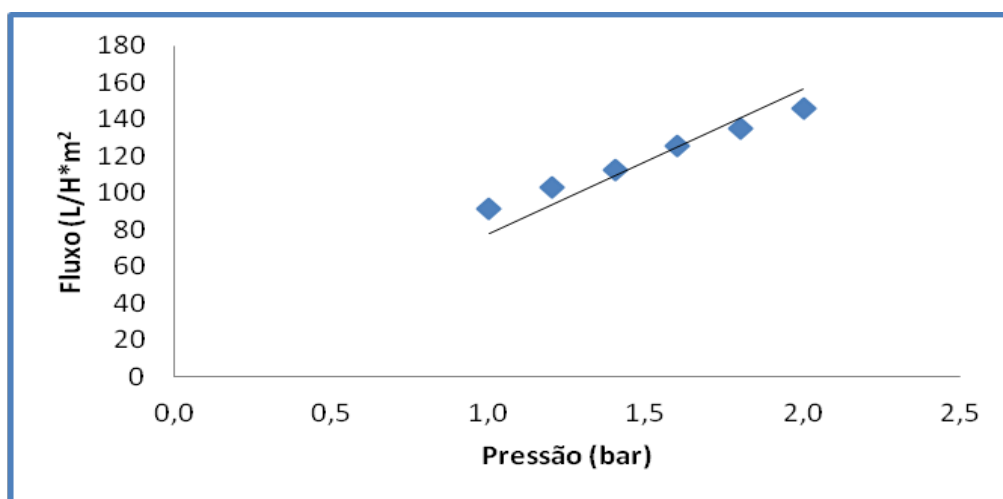


Figura 6 – Permeabilidade do módulo de membrana após utilizado no processo de tratamento do efluente oleoso.

A Figura 7 representa efeitos fenomenológicos de polarização de concentração e de incrustação (*fouling*) da membrana. O fenômeno da polarização de concentração, indicando o acúmulo do material sólido na superfície e então, a formação de uma torta, pode ser caracterizado pela queda brusca do fluxo permeado. A queda lenta do fluxo permeado indica o efeito de incrustação, com possível entupimento dos poros da membrana por materiais em suspensão. Uma vez que a permeabilidade da membrana após a limpeza química não retornou ao seu valor inicial, o fenômeno de incrustação é caracterizado. Contudo, a recuperação de 89% da permeabilidade da membrana após a limpeza química em relação à permeabilidade inicial indica a eficiência da limpeza da membrana e bem como uma recuperação satisfatória da sua permeabilidade.

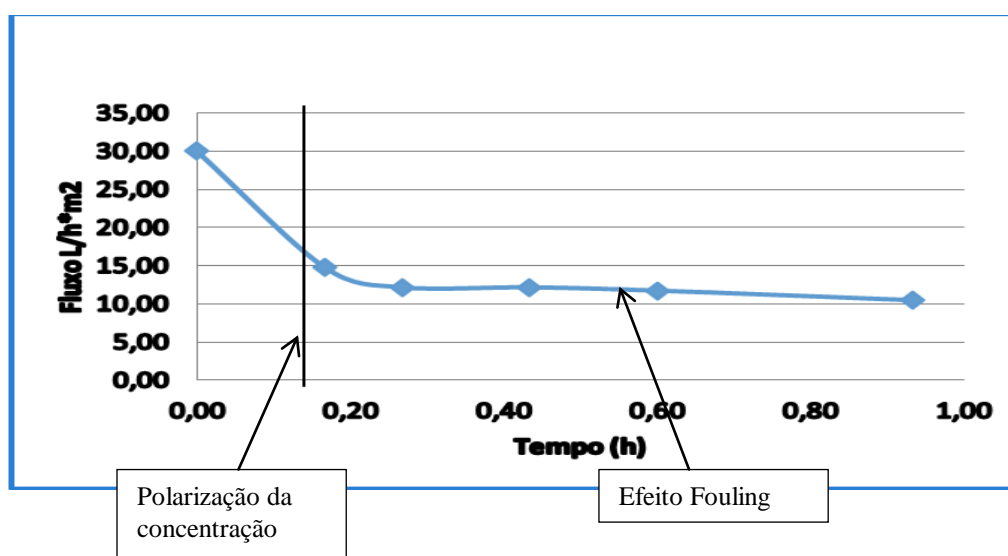


Figura 7 – Acompanhamento do fluxo permeado durante o processamento na microfiltração do efluente oleoso.

CONCLUSÕES

Os testes demonstraram que a qualidade de água obtida através da rota utilizando microfiltração é muito superior ao da água tratada através da estação de físico-químico convencional. A água apresenta-se claramente mais límpida e os resultados de TOC mostram que a membrana é capaz de remover com maior eficiência os sólidos em suspensão e emulsões de óleo. A grande vantagem da membrana com relação ao processo instalado atualmente no posto é a facilidade de limpeza das membranas e a redução do uso de químicos. Alternativamente, outros processos com membranas, a nanofiltração, poderia ser proposto para substituir o carvão testado após a microfiltração.

Com base nos padrões estabelecidos na norma NBR 13969 para água de reuso, constata-se que o processo que utiliza membranas de microfiltração produz um permeado com classificação “Classe 1” para água de reuso e o processo de instalado no posto apresenta classificação “Classe 4”, ou seja não está adequada para uso em lavagem de veículos.

A recuperação da permeabilidade da membrana em 89% em relação a permeabilidade inicial mostra a eficiência da limpeza química da membrana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
2. CONAMA. Resolução N.º 20, de 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União. Estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e lançamento nos corpos de água.
3. CONAMA. Resolução N.º 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
4. ALMEIDA, R. G. Aspectos legais da água de reuso, *Vértices*, v. 13, n. 2, p. 31-43, Campos dos Goytacazes/RJ, maio/ago, 2011.
5. SCHULZ, C. K. Tratamento de efluentes oleosos utilizando processos de separação por membranas. Rio de Janeiro, 2005. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Química - COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
6. PONCIANO, M. C. Elaboração de um programa de reuso da água em lavagem de veículos nos postos de combustíveis do Distrito Federal. Brasília, 2006. Dissertação de Mestrado. Planejamento e Gestão Ambiental da Universidade Católica de Brasília, 2006.
7. TEIXEIRA, Priscila C. Emprego da filtração por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água, Campinas, 2003. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
8. JÖNSSON, C., JÖNSSON, A.S. The influence of degreasing agents used at carwashes on the performance of ultrafiltration membranes, *Desalination*, v.100, p. 115-123, 1995.
9. MORELLI, E. B. Reuso de água na lavagem de veículos. 2005. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.