

I-382 - APLICABILIDADE E DIFICULDADES OPERACIONAIS DE UMA ESTAÇÃO PILOTO DE MICROFILTRAÇÃO TRATANDO ÁGUA DO LAGO PARANOÁ - DF

Samuel Almeida Fonseca⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Técnico em Simulação e Modelagem da ADASA.

Arthur Tavares Schleicher⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília (UnB). Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (PTARH-UnB). Professor Assistente do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (ENC-UnB).

Tatiana Finageiv Neder⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade de Brasília

Giovanna Viana Gerin⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade de Brasília

Lorrayne Abadia Martins⁽⁵⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade de Brasília

Endereço⁽¹⁾: Saa Estação Rodo Ferroviária de Brasília - Ala Norte, Brasília - DF, CEP: 70631-900 - Brasil - Tel: +55 (61) 3961-4922 – e-mail: samuel.a.fonseca@gmail.com

RESUMO

A escassez de água pela qual passa o Distrito Federal acarreta na busca por novos mananciais que possam servir como abastecimento. Dentre outras causas para essa situação de escassez, podem-se citar o crescimento populacional acentuado e o desenvolvimento urbano sem planejamento adequado. Dessa maneira, o lago Paranoá surge como opção como manancial. Alternativamente ao processo de tratamento convencional proposto inicialmente para tratamento de água captada no lago, esse trabalho avalia o desempenho operacional de uma unidade piloto de microfiltração submersa (MFS), de fabricação nacional, em termos de produção de permeado e eficiência nos parâmetros de qualidade da água selecionados.

O trabalho experimental se desenvolveu em três condições operacionais em que se variaram a pressão de trabalho da bomba e o tempo entre retrolavagens, com o objetivo de se avaliar o desempenho da unidade piloto de MFS em relação aos parâmetros de qualidade da água de interesse e da recuperação de permeado. A Condição Operacional 1 foi realizada utilizando as recomendações da fabricante, enquanto nas Condições Operacionais 2 e 3 foram testadas condições mais severas de operação.

Os resultados de qualidade apresentados durante a pré-operação davam indícios de que a membrana entregava apresentava problemas de integridade. Com a condução das análises durante as condições operacionais, observou-se a perda de integridade da membrana, chegando a apresentar valores de turbidez de 2,66 uT, cinco vezes maior que o limite imposto pela legislação.

PALAVRAS-CHAVE: Microfiltração, membrana submersa, escala piloto.

INTRODUÇÃO

O DF passa atualmente por escassez de recursos hídricos para o abastecimento de sua população. Dentre as alternativas elencadas para atender à crescente demanda por água para abastecimento do DF, inclui-se a utilização do lago Paranoá. Sendo planejado inicialmente com a função de geração de energia elétrica e paisagística, o lago desempenha ainda outras funções como recreação, recepção dos efluentes de duas estações de tratamento de esgoto e amortização de águas pluviais. Devido aos usos múltiplos e sua localização dentro de uma área urbana, há preocupações quanto à qualidade da água que será produzida, sendo nutrientes, micro-organismos patogênicos, matéria orgânica e micropoluentes as maiores preocupações em relação à segurança da sanitária.

Os processos de separação por membranas possuem atualmente grande aplicabilidade ao tratamento de água para consumo. A microfiltração (MF) se caracteriza como um processo empregando membranas com diâmetro médio dos poros entre 0,02 e 4µm, com pressão de operação inferior a 200 kPa. As principais aplicações das membranas de microfiltração no tratamento de águas estão na remoção de particulado, turbidez, bactérias e

parcela das partículas coloidais (AWWA, 1997, Chen *et al.*, 2004). Um entrave à implantação de sistemas de membranas no Brasil é a escassez de fornecedores de produtos fabricados e desenvolvidos no próprio país. O presente trabalho teve como objetivo geral a avaliação das condições de operação de uma unidade piloto de membranas de microfiltração submersa, de fabricação nacional, no tratamento de água do lago Paranoá. Foram considerados parâmetros de qualidade da água tratada, além dos impactos da alteração do fluxo e da periodicidade da retrolavagem na eficiência do tratamento, ressaltando-se as dificuldades operacionais. O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A unidade piloto de membranas submersas utilizada para a realização dos experimentos foi instalada em uma área da Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Norte – ETE Norte, de propriedade da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, às margens do Lago Paranoá (Figura 1). A área escolhida tem como vantagens a localização próxima à Universidade de Brasília e já dispõe de ponto de captação da água do lago, além de oferecer segurança ao patrimônio, pois a ETE Norte conta com vigilância 24 horas por dia.

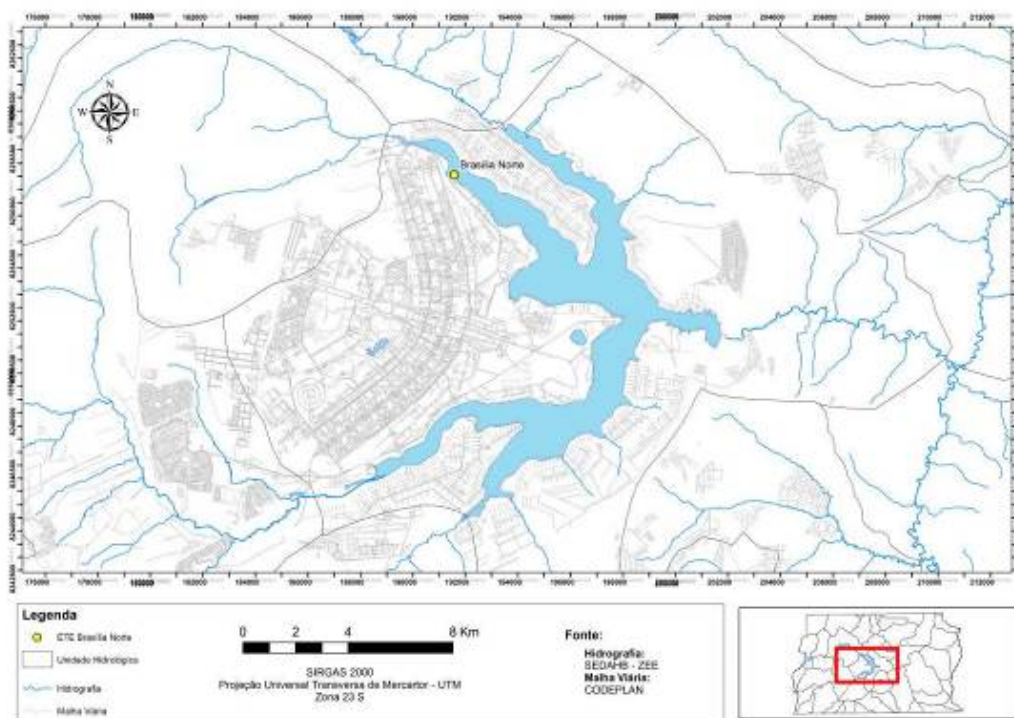


Figura 1 – Localização da Instalação Piloto

INSTALAÇÃO PILOTO E MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO

A instalação piloto contou com dois módulos de membranas de MF submersas que operaram em paralelo. Essa instalação pode ser operada de forma autônoma, somente microfiltração, ou como etapa de pré-tratamento para uma unidade de nanofiltração (NF). Contudo, nesse trabalho, somente foi avaliada a microfiltração. A instalação possuía tubulações e acessórios em PVC, sistema supervisor de controle, chaves de nível em todos os reservatórios e aerador para as operações de retrolavagem com ar/água. As vazões foram aferidas por hidrômetros e as pressões por transdutores de pressão, ambos exibindo os dados no sistema supervisor. O esquema geral da instalação é apresentado na Figura 2.

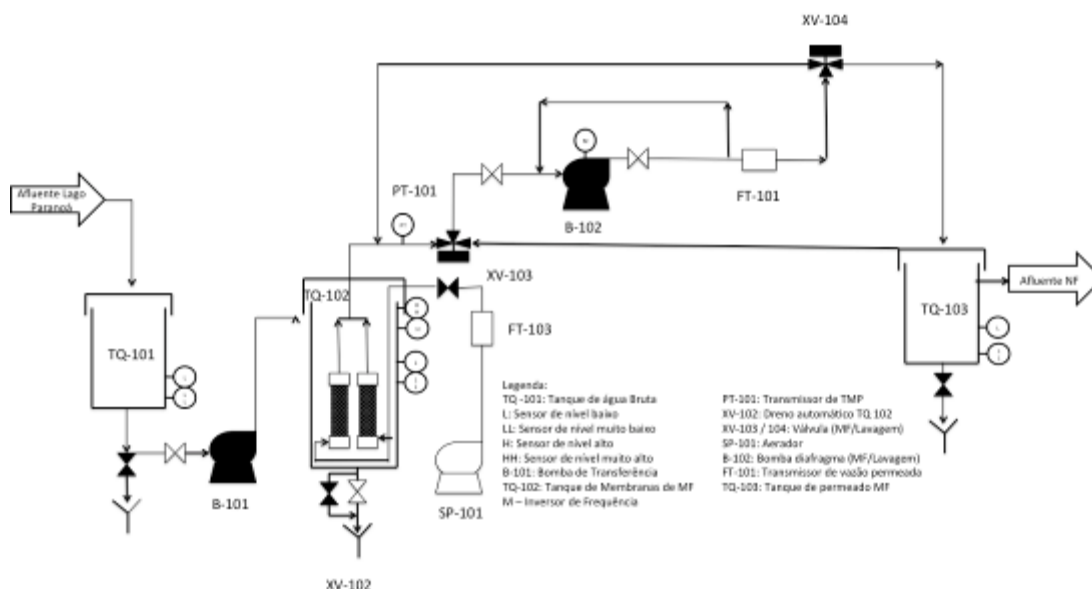


Figura 2 – Instalação piloto de microfiltração

Cada módulo de membranas de MF adotado neste estudo possuía área de 5 m², sendo constituído por uma estrutura de PVC responsável pelo suporte das membranas, essas fixadas nas extremidades. As extremidades possuíam compartimentos específicos, sendo o inferior responsável pela aeração, e o superior responsável pelo recolhimento do permeado. A membrana que compõe o módulo é do tipo cilíndrica de fibra oca com camada seletiva externa, feita de polietirimida (PEI) com diâmetro externo de 0,9 (mm) e diâmetro de poro de 0,4 µm. Em termos de operação, o fabricante recomenda que a pressão transmembrana esteja na entre 0,2 e 0,8 bar e o fluxo recomendado de 10 L/h·m².

PROTOCOLO DOS EXPERIMENTOS DE MICROFILTRAÇÃO

A unidade foi operada em modo contínuo, com diferentes condições de operacionais, incluindo a variação do intervalo entre lavagens e do fluxo inicial de permeado. Com o objetivo de avaliar, mesmo em caráter preliminar, o desempenho operacional do sistema de microfiltração no tratamento de água do lago Paranoá, o desenvolvimento experimental foi dividido em 3 etapas com diferentes condições de operação, sendo analisados dois fluxos iniciais e dois intervalos entre lavagens, conforme a Tabela 1. Foi adotado o uso da aeração somente durante a retrolavagem.

Tabela 1 – Condições de operação da unidade piloto.

Operação	Pressão	Tempo Entre Lavagens	Aeração
1	-0,1 bar	15 min	Retrolavagem
2	-0,2 bar	15 min	Retrolavagem
3	-0,2 bar	30 min	Retrolavagem

A operação da instalação foi realizada com pressão constante e fluxo declinante, e para se estabelecer a condição inicial do fluxo a pressão aplicada pela bomba de sucção era alterada. A avaliação de desempenho, foi baseada no decaimento do fluxo devido às obstruções da membrana ao longo da operação. Independentemente do modo de operação avaliado, as retrolavagens foram realizadas com pressão de 0,5 bar (fluxo aproximado de 45L/h·m²), com duração de dois minutos, e com a utilização de aeração a uma taxa de 1,5 LPM.

Os valores de pressão P1 e P2 necessários para o estabelecimento dos fluxos iniciais desejados (Tabela 1) foram determinados por meio do ensaio de “pressão crítica”. Esse ensaio foi realizado ainda com a membrana limpa, antes da pré-operação.

O ensaio aqui denominado de pressão crítica se baseou no princípio do ensaio de fluxo crítico e consistiu na observação da vazão resultante da aplicação de determinado valor de pressão (sucção) na operação da MFS durante o período de 15 minutos (Belli, 2011). Os incrementos à pressão ocorriam, portanto, a cada 15 minutos

com valores constantes de -0,05 Bar, no intervalo de -0,1 a -0,3 Bar. O acompanhamento de vazão durante o ensaio de pressão foi realizado pelo método volumétrico, com 4 medidas durante o intervalo de tempo para cada valor de pressão avaliado. O valor considerado como pressão crítica foi o menor valor que apresentasse declínio significativo de fluxo ao longo dos 15 minutos de aplicação daquela pressão.

Assim, o valor de P1 selecionado foi aquele que levou ao fluxo recomendado pelo fabricante (10 L/h·m²) e o P2 foi o valor de maior sucção avaliado que manteve o fluxo passando pela membrana constante ou em ligeiro declínio.

Cada condição operacional foi avaliada por um período mínimo de uma semana. Antes do início da avaliação de uma nova condição de operação era realizada a limpeza química da membrana com objetivo de se estabelecer uma condição inicial de obstrução similar para os diferentes experimentos.

A rotina de limpeza química envolvia o procedimento de retrolavagem, seguido de imersão dos módulos de membranas em solução de 500 ppm de hipoclorito de sódio por 2 horas. Esse procedimento era realizado no tanque T-102. O detalhamento do procedimento de limpeza química está descrito no manual do fabricante (PAM Membranas, 2016 e PAM Membranas, 2012). Após a limpeza química, a recuperação das condições de fluxo através da membrana era avaliada por meio da aferição da vazão produzida pós-limpeza, comparando-a com as vazões iniciais da operação anterior.

MÉTODOS ANALÍTICOS

A eficiência da microfiltração como alternativa para o tratamento da água do lago Paranoá foi mensurada por meio de análise de cinco parâmetros de qualidade: turbidez, contagem de partículas, matéria orgânica natural (UV254nm), coliformes e clorofila-a. Tais parâmetros foram escolhidos devido à importância para verificação de integridade da membrana (Sorlini *et al.*, 2011) e avaliação da adequação dos padrões de qualidade de água para abastecimento exigidos pela legislação, como o valor máximo permitido para turbidez na saída de filtros rápidos, estabelecido pela portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde.

Realizaram-se análises de qualidade das amostras de água bruta e água filtrada, com frequência de amostragem e métodos analíticos adotados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Métodos analíticos utilizados

Parâmetro	Método	Equipamento	Frequência
Turbidez (UT)	Nefelométrico	Turbidímetro - Hach 2100 P	2 a 4 vezes por dia
Contagem de Partícula (Partículas/ml)	Contagem por contador automático, realizada por feixos de luz em diferentes diâmetros de partícula	Contador de Partículas - Hiac 9703+	Diariamente
Clorofila -a (µg/L)	Extração com clorofórmio-metanol (2:1) e medição da absorbância em comprimento de onda de 665 nm e 750 nm	Espectrofotometro Hach/DR 4000	Diariamente
Coliformes totais, <i>E. Coli</i> (NMP/100mL)	Substrato enzimático	Seladora, incubadora, lâmpada UV	Diariamente
Matéria orgânica natural - UV - 254nm (cm ⁻¹)	Absorção de UV em λ=254 nm	Espectrofotometro Hach/DR 5000	Diariamente
pH	Potenciométrico	Medidor de pH Modelo - Orion 310	2 vezes por dia

As amostras de água a serem analisadas no Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB foram coletadas em frascos autoclavados, de volume aproximado de 250 ml, exceção feita à análise de clorofila.

Para a análise de clorofila os volumes coletados foram de 1L de água bruta e 1,5 L de água permeada. A etapa de filtração das amostras para análise de clorofila era realizada na própria ETE, onde os filtros eram conservados ao abrigo de luz e envolvidos por sachês de sílica a fim de se evitar o acúmulo de umidade, até serem armazenados no congelador, onde ficavam por um período de aproximadamente 4 dias, até que fosse dada sequência ao processo de extração e leitura das absorvâncias.

Para complementar a informação relativa à biomassa de algas (clorofila-a) foi realizada, de modo pontual, identificação das algas predominantes nas águas bruta e filtrada. Além da identificação, os tamanhos das algas foram mensurados com objetivo de compreender o funcionamento da membrana com relação a tais organismos.

Para isso a coleta foi feita direta do tanque T-101 para água bruta, e do tanque T-103 para o permeado, não sendo utilizado qualquer método de concentração. Adicionou-se lugol às amostras coletadas a fim de se realizar a fixação das microalgas. As amostras foram analisadas qualitativamente utilizando-se microscópio óptico Leica DM750 com aumento de 400 vezes, e fotografadas em aumento de 1000 vezes com óleo de imersão.

A contagem de partículas foi realizada com objetivo de complementar a informação de turbidez, sendo assim possível avaliar a seletividade da membrana com a tamanhos de partícula de interesse. Por ser realizada em equipamento com uma faixa de detecção limitada, foi necessário, durante a condução das análises, utilizar diluição das amostras com água deionizada (Milli-Q).

A análise de coliformes totais e *E. coli* se deu pelo método do substrato enzimático e quando necessária sua diluição utilizou-se água destilada submetida a processo de esterilização.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ENSAIO DE PRESSÃO CRÍTICA

O ensaio de pressão crítica realizado anteriormente às operações foi o responsável por determinar a pressão P2 que seria utilizada para se obter o fluxo superior ao longo dos experimentos. O ensaio também foi utilizado para determinar qual valor de pressão que forneceria o fluxo inicial igual ao fluxo recomendado pela fabricante (10 L/h·m²), a essa pressão deu-se o nome de P1. Na Figura 3 são apresentados os dados obtidos a partir do ensaio de pressão crítica.

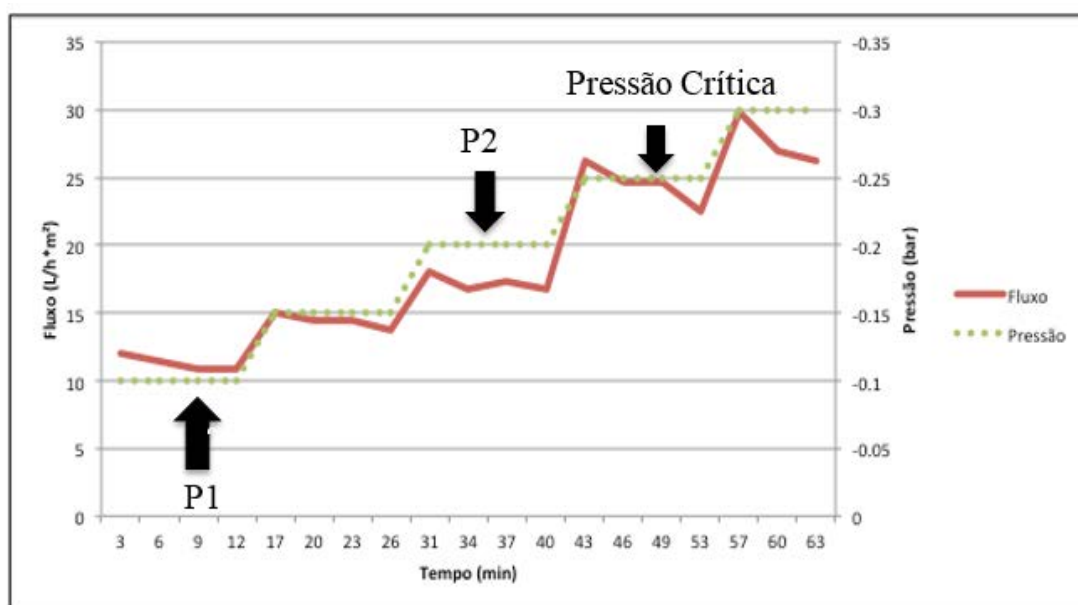


Figura 3– Determinação da pressão crítica

Na Figura 3 é observado o comportamento do fluxo quando se mantém constante a pressão transmembrana (PTM), portanto nota-se que após o incremento da PTM, ocorre o incremento do fluxo e ao longo do período de observação esse passa a diminuir devido à obstrução dos poros. Para os incrementos iniciais de pressão foi observada a estabilização da vazão com queda ao final do ciclo. A partir do incremento que levou a PTM para 0,25 observou-se uma queda mais acentuada em relação ao valor inicial do fluxo, sendo essa considerada pressão crítica. Portanto para tentar se obter o máximo de produção com a menor propensão a obstrução utilizou-se o maior valor de pressão abaixo da pressão crítica, logo P2 foi definido como -0,2 bar. Observando-se o gráfico, nota-se que o valor de pressão que apresenta o fluxo mais próximo do originalmente proposto pelo projeto é -0,1 bar, logo, tal pressão foi utilizada como P1.

INTEGRIDADE DOS MÓDULOS DE MEMBRANA E DADOS DE QUALIDADE

As Condições Operacionais analisadas foram precedidas de uma fase pré-operacional, que teve como objetivo a familiarização do operador com a unidade piloto e a realização dos ajustes necessários. Durante a pré-operação a unidade piloto foi operada de acordo com as especificações do fabricante (pressão -0,1 bar e tempo entre retrolavagens de 15 min), contudo a operação não se deu de modo contínuo. A Tabela 3 apresenta os resultados das análises dos parâmetros de qualidade que foram obtidos nessa fase.

Tabela 3- Dados de qualidade Pré-Operação

Parametro	Água Bruta			Permeado			Remoção Média (%)
	Max	Min	Med	Max	Min	Med	
Turbidez (uT)	5.8	2.3	3.4	0.6	0.4	0.5	85%
Coliformes Totais (NMP/100ml)	4839.2	1841.6	2880.5	547.5	191.8	325.8	89%
<i>E. Coli</i> (NMP/100ml)	54.0	14.8	28.8	32.3	1.0	12.4	57%
UV-254 (cm-1)	0.087	0.077	0.079	0.060	0.049	0.053	33%
pH	7.2	7.0	7.2	7.2	7.1	7.2	-

Destaca-se nesta etapa que os valores de turbidez e coliformes totais apresentam valores superiores aos relatados na literatura para a remoção utilizando membranas de microfiltração. AWWA (1997), apresenta valores de remoção da ordem de 7,8 log para *E. Coli* utilizando membranas de MF com diâmetro de poro igual a 0,2 μm e operando de modo pressurizado, não submerso. Já Corrêa e Tsuzuki (2012), utilizando membranas com o mesmo diâmetro de poro (0,4 μm) também submersas, porém em escala de bancada, obtiveram remoções de Coliformes Totais que variavam entre 98% e 100%.

No que tange aos valores encontrados para a remoção de turbidez, estes também apresentaram valores de remoção aquém do esperado quando comparados a estudos publicados. Corrêa e Tsuzuki (2012), alcançaram remoção de turbidez variando em uma faixa entre 91 e 92%, para membrana do mesmo tipo que foi utilizada, contudo deve-se considera-se também que os valores de turbidez variavam entre 2,85 e 2,2 uT.

Os resultados das análises de qualidade de água permeada utilizando a unidade piloto, durante a pré operação, podem indicar a existência de problemas na integridade da membrana uma vez que segundo Jacangelo e Noack (2005) o monitoramento dos valores de turbidez e coliformes no permeado podem ser utilizados como medida indireta do nível de integridade das membranas, já que por conta de sua característica de ser material particulado, ambos parâmetros seriam excluídos pelo mecanismo de rejeição física.

O fato dos valores apresentados serem maiores que o esperado sugere que o módulo de membrana pudesse ter sua integridade comprometida desde que foi entregue pela fabricante A Figura 4 mostra um dos módulos de membrana utilizados no momento em que era desembalado com destaque para regiões que podem indicar problemas em sua integridade.



Figura 4 - Módulo de membrana com indicação de possíveis problemas de integridade

Os dados de qualidade apresentaram sensível piora com o passar do tempo de operação, isso deveu-se tanto pela condição que a membrana apresentava quando foi entregue, quanto pelas condições de operação às quais ela foi submetida. A Figura 5 apresenta de modo contínuo o acompanhamento dos dados de turbidez ao longo dos dias de operação da unidade piloto e relata bem que o processo da diminuição da integridade ocorreu de modo gradativo, porém foi aumentando a taxas maiores ao longo das etapas. Contudo não é possível afirmar que esse aumento foi causado pela condição de operação mais severa, ou pelo fato do módulo já apresentar falta de integridade desde o princípio. A análise da evolução da turbidez (diariamente) representa bem o comportamento que os outros parâmetros particulados (microalgas, coliformes totais e contagem de partículas) tiveram ao longo das semanas de operação, invariavelmente com as primeiras etapas garantindo as melhores taxas de remoção. Os parâmetros particulados são apresentados na Tabela 4.

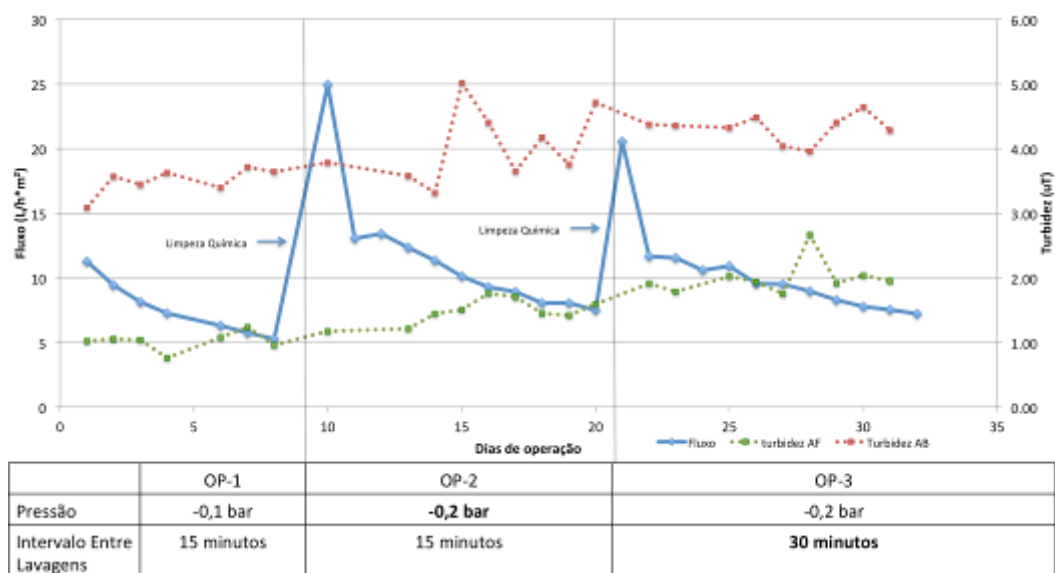


Figura 5 – Resultados de recuperação

O acompanhamento dos dados de turbidez mostra que a sua remoção média que variou entre 71% a 54%, remoção bastante inferior às relatadas na literatura. Para membranas produzidas com o mesmo material e com mesmo tamanho de diâmetro de poro, e igualmente em operação submersa, Corrêa e Tsuzuki (2012) obtiveram remoção maiores que 90%. A baixa eficiência de remoção de turbidez confirma a ocorrência de problemas com a integridade da membrana, que foi se agravando ao longo da operação. Os valores de turbidez residual foram com sempre superiores a 0,5 uT, limite estabelecido pela Portaria 2.914/12 do Ministério da Saúde que estabelece os valores limites para turbidez na saída de filtros rápidos.

Tabela 4 – Dados de Qualidade Condição Operacional

Operação	Parâmetro	Água Bruta			Água Filtrada			Remoção méd (%)
		Max	Min	Med	Max	Min	Med	
1	Turbidez (uT)	3,87	3,1	3,57	1,67	0,71	1,04	71%
	Contagem de Partículas (Part./ml)	36296	22406	27983	8628	3826	5358	80%
	Col.Totais (NMP/100ml)	1732,9	522	1116,6	77,1	148,3	361,4	88%
	<i>E. Coli</i> (NMP/100ml)	12,6	4	8,8	5,2	4	4,8	45%
	UV-254 (cm ⁻¹)	0,09	0,08	0,09	0,06	0,05	0,06	36%
2	Turbidez (uT)	5,3	3,21	4,02	1,59	1,17	1,451	64%
	Clorofila (µg/L)	13,2	3,34	10,37	4,752	3,34	4,14	60%
	Col. Totais (NMP/100ml)	> 4839	976,8	3445	>2420	344	1028	70%
	<i>E. Coli</i> (NMP/100ml)	551	10,4	211,3	166,4	5,2	65,66	69%
	UV-254 (cm-1)	0,101	0,072	0,082	0,069	0,04	0,056	32%
3	Turbidez (uT)	4,64	3,96	4,32	2,66	1,75	1,996	54%
	Cont. de Partículas (part/ml)	39087	29516	39087	13044	12588	12803	67%
	Clorofila (µg/L)	12,408	8,84	10,13	7,48	4,136	5,63	44%
	UV-254 (cm-1)	0,099	0,079	0,087	0,061	0,044	0,052	40%

Os dados de coliformes totais e *E. Coli* na água bruta apresentaram a maior variação entre parâmetros, isso pode ser justificado por conta da posição da captação de água bruta, que se encontrava próxima ao lançamento de uma estação de tratamento de esgoto, como mencionado anteriormente. Contudo, o aumento em menos de uma semana da concentração de coliformes totais de 936 NMP/100ml para valores maiores que 4839,2 (valor maior que o limite de detecção para diluição utilizada) pode indicar algum problema na operação da estação. Devido a tal ocorrência não se pôde indicar eficiência de remoção de coliformes totais, já que a concentração inicial não foi determinada; sabe-se, contudo, que remoção para essa situação foi de pelo menos 80%.

Mesmo não sendo possível precisar a remoção de coliformes totais para a Condição Operacional 2, sabe-se que houve aumento na densidade desse organismo pela concentração que foi apresentada na água permeada, de tal modo que foi possível inferir que houve uma piora significativa da remoção, por conta da integridade da membrana.

Em termos de *E. Coli* sabe-se que esta não chegou a extrapolar o nível de detecção, apesar do seu crescimento. De tal modo que houve o aumento na taxa de rejeição quando comparada a Condição Operacional 1, contudo esse valor de rejeição não é representativo para se fazer a comparação, já que os valores residuais de *E. coli* no permeado durante a Condição Operacional 1, são superiores aos valores obtidos na Condição Operacional 1.

Diferentemente dos outros parâmetros, a matéria orgânica natural, medida por meio da absorção UV em 254 nm, apresentou comportamento de acordo com o relatado na literatura. Os valores residuais no permeado variaram mantiveram valor médio de remoção de 36%) próximos aos encontrados por Correa e Tsuzuki (2012) quando operaram a MFS sem utilização de pré-tratamento. A MON, por não ser considerada particulada, não tem sua remoção diretamente ligada à integridade da membrana, o que pode justificar o fato deste resultado estar de acordo com a literatura. Para remoção substancial de matéria orgânica por membranas de MF, Speth e Reis (2005), indicam que é necessário o emprego de um pré-tratamento, podendo ele ser coagulação, ou a utilização de carvão ativado em pó.

COMPORTAMENTO DO FLUXO

Durante a avaliação da Condição Operacional 1, foi observado que nas primeiras 24 horas o fluxo obtido foi maior que o fluxo recomendado pelo fabricante. Nas 24 horas seguintes obteve-se o fluxo recomendado apenas após a retrolavagem, sendo que os valores ao final do ciclo de microfiltração variaram entre 8,53 e 8,61 L/h·m². Com o passar do tempo, observa-se que a variação entre o fluxo no início e no final do ciclo diminui, indicando o aumento da incrustação que não pode ser removida pela retrolavagem.

A Condição Operacional 2 se iniciou após procedimento de limpeza química e apresentou um alto valor de fluxo para as primeiras horas, o que sugere boa eficiência da limpeza química na remoção da incrustação resistente a retrolavagem, com picos de 28,1 L/h·m². A Figura 5 apresenta a evolução do fluxo ao longo da avaliação da Condição Operacional 2.

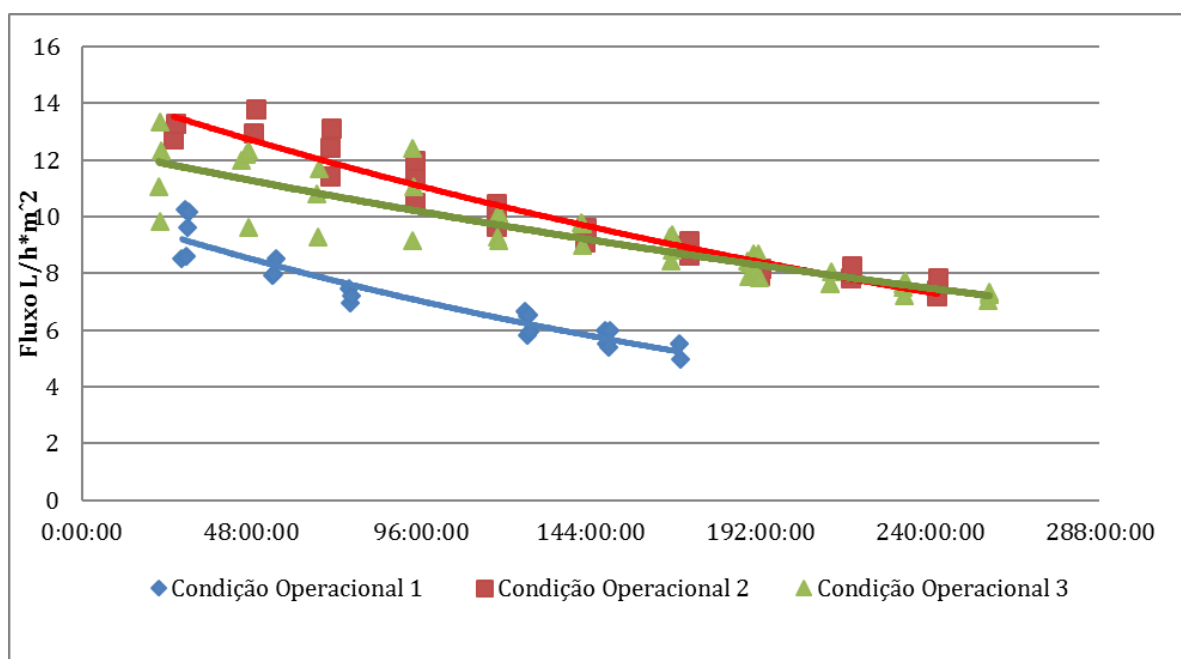


Figura 5 - Comparativo do comportamento dos fluxos com o tempo de operação

O rápido declínio nas primeiras horas de operação é um comportamento esperado quando se tem a membrana limpa, e pode ser, em parte explicado, como efeito da polarização de concentração. Chellan e Zander (2005) destacam que ao ocorrer o acúmulo de partículas rejeitadas pela membrana próximo a sua superfície é gerado um gradiente de concentração e finalmente uma pressão osmótica, fazendo com que mais partículas sejam atraídas até que se chegue a uma situação estacionária, esse efeito é destacado em membranas que operam no fluxo frontal. A partir daí o declínio do fluxo passa a ser consequência da obstrução gerada pela incrustação interna, bloqueio de poro e formação da torta.

Porém, acredita-se que esse fluxo elevado nos momentos iniciais de operação também é influenciado pelo procedimento de limpeza química, uma vez que após o período de contato do cloro com a membrana era realizado o processo de retrolavagem com água limpa a fim de se expulsar o cloro que por ventura ainda se mantinha no interior das fibras. Com esse procedimento, mesmo se utilizando a drenagem do tanque T-102, acredita-se que parte de água com menos impurezas tenha se mantido no tanque e assim a membrana foi capaz de apresentar um maior fluxo. Esse fenômeno também foi observado na Condição Operacional 3, logo os dados iniciais de fluxo serão desconsiderados a fim de se modelar o comportamento do fluxo.

Assim como as operações anteriores, a Condição Operacional 3 foi iniciada após a limpeza química buscando retornar as membranas à condição inicial, com a eliminação da incrustação não removível pela retrolavagem. Por estar trabalhando com a mesma pressão da Condição Operacional 2, -0,2 bar, esperava-se fluxo de permeado semelhante nas primeiras horas, entretanto o pico de fluxo alcançado foi de 23,46 L/h·m², em contraposição a 28,14 L/h·m² da Condição Operacional 2. Portanto pode-se dizer que a membrana não obteve a mesma eficiência de limpeza. Mesmo tendo iniciado com um fluxo inferior ao da Condição Operacional 2, a Condição Operacional 3 apresenta a mesma característica de rápido declínio após as primeiras horas.

No comparativo de fluxo (Figura 5) este é acompanhado a partir do segundo dia quando se esperava que já tivesse ocorrido a estabilização do processo de formação do gradiente de concentração, e também que toda a influência de limpeza tenha sido eliminada, de modo que a redução na vazão seja prioritariamente causada pela formação de torta e obstrução dos poros.

Observando a Figura 5 nota-se que quando a alteração se deu apenas na pressão aplicada pela bomba B-102, o comportamento dos fluxos foi bastante semelhante durante a operação com a diminuição na tendência de queda de fluxo. Quando se comparam as condições operacionais 2 e 3, percebe-se o efeito das variações de intervalo entre retrolavagens através do modo como se apresentam os dados de medição de fluxo dentro do mesmo ciclo antes da limpeza. Pode-se dizer que o intervalo de 15 ou 30 minutos não foram capazes de retardar o processo de incrustação permanente, tendo a diferença entre vazões de um mesmo ciclo ficado próximas a partir da hora 144. O volume utilizado pela retrolavagem é de aproximadamente 15 L, sabendo da frequência de retrolavagens e do total de operação foi possível se calcular a recuperação. A Tabela 5 sumariza os resultados de recuperação obtidos.

Tabela 5 – Resultados de recuperação

Condição Operacional	1	2	3
Produção (L)	13097	21466	22558
Retrolavagem (L)	10140	12960	7050
Recuperação	23%	40%	69%

O maior intervalo entre retrolavagens foi o fator mais importante para se obter a maior taxa de recuperação para membranas que operam em fluxo frontal, tendo em vista que a perda de permeado para a retrolavagem se constitui na maior perda de eficiência na recuperação. Observa-se que as condições operacionais 2 obtiveram a maior produção de permeado que a operação 3, considerando que a condição operacional 2 teve um dia a menos de duração, o que demonstra que a limpeza a cada 15 minutos de fato preserva mais a membrana, entretanto, observa-se também que o a duração utilizada de 2 minutos, se constitui em um intervalo grande, sendo assim responsável em grande por essa grande diferença de recuperação apresentado entres as operações (Cheng *et al.*, 2007), mais que isso, esse gasto excessivo de água de lavagem pode ser o responsável pelas taxas de recuperação estarem abaixo de 90%, valor referência indicado pelo fabricante que sugere a utilização de da retrolavagem por 30 segundos. De todo modo deve-se estabelecer qual o intervalo ótimo a ser utilizado para que não haja prejuízo na remoção de particulado e ao mesmo tempo minimize a perda de permeado e o tempo fora de operação (Choi *et al.*, 2009).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Desde a pré-operação, os valores elevados de bactérias do grupo coliformes na água permeada indicavam problemas de integridade da membrana. Com o início da avaliação da primeira condição operacional, utilizando as condições sugeridas pela fabricante, foi constatada a degradação da qualidade da água do permeado no que tange aos parâmetros turbidez, coliformes totais e *E. Coli*, reforçando a hipótese que a integridade da membrana estava comprometida.

Sob condições de operação mais severas que as recomendadas pelo fabricante, a redução da capacidade de rejeição de impurezas pela membrana se agravou, sendo observado inclusive baixas eficiências de remoção de clorofila-a, que passou a ser quantificada a partir da segunda condição operacional. Entretanto não é possível inferir se a redução de eficiência da membrana está associada às alterações das condições operacionais em função do comprometimento da integridade observado.

Aumentar o intervalo entre retrolavagens não representou grande perda em termos de vazão, pelo contrário, houve a maior recuperação do fluxo de permeado (70%, contra 45%) em relação à obtida pela condição operacional 2, em que se obteve maior produção de permeado. Observou-se ainda que o tempo de duração da retrolavagem teve impacto direto sobre o resultado da recuperação. Acredita-se que menores durações beneficiem condições de operação que possuem menor intervalo entre lavagens, e, portanto, há a necessidade de se avaliar a duração ideal para cada tipo de operação, sendo dois minutos uma duração que promove significativa perda de permeado para a o fluxo utilizado nesse estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA. Membrane Filtration for Microbial Removal. AWWA Research Foundation and American Water Works Association. USA. 212p, 1997
2. BELLI, J. T. Biorreator à Membrana em Batelada Sequencial Aplicado ao Tratamento de Esgoto Visando a Remoção de Nitrogênio Total. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC. 169p, 2011
3. BRASIL Ministério da Saúde. Portaria no 2914, de 12 de dezembro de 2011. "Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade." Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011.
4. CHEN, J. P.; MOU, H.; WANG, L. K. E MATSURA, T. —Membrane Filtration. In: Wang, L. k.; Hung, Y. T.; Shammas, N. K. (eds) Advanced physicochemical treatment processes, Handbook of environmental engineering, V4, New Jersey, E.U.A., 203-259, 2004.
5. CHENG, T., LEE, Z. Effects of aeration and inclination on flux performance of submerged filtration. Desalination, 234, 74-80, 2007
6. CHOI, B.B., CHOI, Y.J., CHOI, J.S., LEE, S. E OH, H.J. Energy management in submerged microfiltration systems by optimum control of aeration. Desalination 247 (233-238), 2009
7. CORRÊA, M.A. E TSUZUKI, Y.N.S. Avaliação do Desempenho de um Sistema Híbrido de Membranas de Microfiltração no Tratamento de Água do Lago Paranoá – Distrito Federal. Monografia de Projeto Final, Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, DF. 124p, 2012.
8. JACANGELO, J.G., E NOACK, R. K. "System Concepts." In AWWA (eds.) Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, Manual of ter Supply Practices –M53. American Water Works Association, Glacier Publishing Services, Inc. E.U.A., 51-64, 2005.
9. SEPTH, F.T. E REISS, C.R. "Water Quality". In AWWA (eds.) Microfiltration and Ultrafiltration Membranes for Drinking Water, Manual of ter Supply Practices - M53. American Water Works Association, Glacier Publishing Services, Inc. E.U.A., 7-34, 2005.
10. SORLINI, S. GIALDINI, F. COLLIVIGNARELLI, C. Removal of cyanobacterial cells and Microcystin-LR from drinking water using a hollow fiber microfiltration pilot plant. Desalination, 309, 106-112, 2011.