

I-060 - REMOÇÃO DOS MICRORGANISMOS INDICADORES: *E. coli*, colifagos e *Clostridium perfringens* COM MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO E ULTRAFILTRAÇÃO

Venício Stefler⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro).

Carlos Raphael Pedroso

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UNICENTRO/UEPG. Bolsista técnico da Fundação Araucária, atuando no laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Ambiental, Campus Irati (UNICENTRO).

Jeanette Beber de Souza

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (UNICENTRO/UEPG) e Ciências Florestais (UNICENTRO).

Carlos Magno de Sousa Vidal

Biólogo pela Universidade Federal de São Carlos (UFScar). Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental (UNICENTRO/UEPG) e Ciências Florestais (UNICENTRO).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), PR 153, Km 07, Riozinho, Irati, PR; CEP 84500-000 - Brasil - Tel: (42) 3421-3210 - e-mail: cmsvidal@unicentro.br

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência da tecnologia de membranas filtrantes de microfiltração e ultrafiltração (MF e UF) para a remoção de microrganismos indicadores de contaminação fecal como método alternativo ao uso de desinfetantes químicos, bem como, avaliar a interferência da turbidez no desempenho do processo. Para tal, foram realizados ensaios de filtração em equipamento piloto de membranas filtrantes, empregando água bruta de um rio utilizado como manancial de abastecimento público municipal. A efetividade da desinfecção foi verificada através dos exames dos microrganismos indicadores de contaminação fecal: Coliformes Totais (CT), *Escherichia coli*, colifagos e *Clostridium perfringens*. Para a bactéria *E. coli* obteve-se 100% de eficiência de remoção para 120 minutos de operação na unidade piloto de filtração, demonstrando excelente eficiência de resultados para as duas membranas. Para Coliformes totais a eficiência de remoção na membrana de MF foi de 94,1% e na UF a remoção chegou a 98,8%. Para o indicador de protozoário *C. perfringens* a membrana de UF propiciou remoção de 99,5%, comparado com 99,0% obtido na MF. Para a remoção de colifagos ambas as membranas foram eficientes, removendo 100% nos primeiros 60 minutos de operação. Os valores residuais de turbidez para os tempos de operação de 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 minutos foram em média de 36; 3,78; 4,53; 0,18; 0,16; 0,19; 0,35; 0,24; 0,22 uT, o que pode ser considerado excelente desempenho após 45 minutos de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água, membranas filtrantes, indicadores microbiológicos de contaminação fecal.

INTRODUÇÃO

O objetivo principal da desinfecção das águas e águas residuárias é, sem dúvida, a proteção da saúde da população, de acordo com os possíveis usos pretendidos para a água, a saber: abastecimento público, irrigação, uso agrícola, recreação, entre outros. Sendo que, para cada um destes usos aplicam-se critérios e padrões de qualidade, em que não apenas as incidências e concentrações máximas de organismos são consideradas, mas também os próprios organismos, grupos e tipos.

A eficiência da desinfecção é avaliada pela redução do número (concentração) de organismos patogênicos. Entretanto, é inviável econômica e operacionalmente detectar todos os potenciais organismos patogênicos presentes em uma amostra, assim, empregam-se microrganismos indicadores de contaminação fecal. As fezes humanas contêm coliformes totais, nos quais está incluída a bactéria *Escherichia coli*, indicadora exclusiva de humanos. Dependendo da concentração destas bactérias, a água pode ser imprópria para um uso específico. Por exemplo, de acordo com os padrões de potabilidade, definidos na Portaria MS 2.914 de 12 de dezembro de 2011 (BRASIL, 2011), as águas destinadas ao consumo humano, uma vez desinfetadas, não poderão conter coliformes totais e *E. coli* em qualquer amostra (REALI, SABOGAL PAZ E DANIEL, 2013).

Entretanto, como existem alguns patogênicos mais resistentes à ação dos desinfetantes do que os coliformes totais e *E. coli*, torna-se importante estudar também outros microrganismos indicadores de contaminação fecal mais resistentes como os colifagos e *C. perfringens*.

A desinfecção pode ser feita pela adição de produtos químicos, como cloro (gasoso, hipoclorito de sódio e cálcio) dióxido de cloro, ozônio, entre outros, por processos físicos como os que utilizam as radiações, como a solar e a UV e, no caso específico da presente pesquisa, a remoção física dos microrganismos pelas membranas filtrantes.

Tecnologias como a de separação por membranas de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa possuem elevado potencial para aplicação no tratamento de água para abastecimento. Nessa tecnologia é utilizada a pressão hidráulica como força motriz para separar a água dos contaminantes. Esses sistemas são caracterizados por apresentarem elevada eficiência de remoção de poluentes, aliado ao requerimento de menor área construída, sendo o maior fator limitante, no Brasil, o custo mais elevado quando comparado às tecnologias convencionais de tratamento (MIERZWA, et al. 2008).

As membranas filtrantes constituem-se em barreiras seletivas com espessuras reduzidíssimas (da ordem de 0,20 a 0,25 μm) que atuam limitando de forma parcial ou total a passagem de partículas (sólidos em suspensão, matéria orgânica, organismos patogênicos, nutrientes e outras substâncias dissolvidas) que se deseja reter, sem que ocorra a transformação química ou biológica dos componentes durante a filtração. Para que algumas partículas transponham as membranas e outras sejam retidas é necessário haver um gradiente de potencial entre os dois lados da membrana, tipicamente um gradiente de pressão, concentração, temperatura, ou de potencial elétrico (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

No que se refere às características das membranas, as de microfiltração (MF) apresentam como configuração mais comum o formato cilíndrico, possuem porosidade de 0,1 μm a 5 μm ; pressão de operação < 200 KPa e retém materiais como protozoários, bactérias, vírus (maioria) e partículas.

As membranas de ultrafiltração (UF) possuem porosidade que variam de 0,001 μm a 0,1 μm ; trabalham em pressão de operação de 0,1 Mpa a 1,0 Mpa; também apresentam o formato cilíndrico como configuração mais comum e possibilitam, além de material removido na MF, os coloides, a totalidade de vírus e perturbadores endócrinos. No entanto, a operação econômica de sistemas de membranas depende da capacidade de garantir o permeado na pressão de operação mais baixa possível durante longos períodos e sem perda de eficiência. Assim, a compactação e o acúmulo reversível ou irreversível de material na superfície das membranas são fatores relevantes, sendo a tendência da água de alimentação bloquear as membranas, um dos parâmetros de projeto mais importantes no dimensionamento do sistema de membranas (REALI, SABOGAL PAZ E DANIEL, 2013).

A remoção de microrganismos por membranas, depende do tamanho dos poros como parâmetro crítico para desinfecção. O diâmetro do poro da membrana deve ser menor do que o tamanho dos microrganismos. Entretanto, testes com membranas têm demonstrado que, em razão da propriedade de rejeição das membranas, microrganismos menores que o tamanho do poro também podem sofrer retenção significativa (GONÇAVES, 2003).

Entretanto, Gonçalves (2003) baseado em estudos da literatura aborda que, levando em conta apenas o tamanho dos poros, pode-se considerar que vírus não teriam possibilidade de penetrar em membranas de ultrafiltração. Estudos desenvolvidos por Urase *et al.* (1994) mostraram que a passagem de vírus através de membranas delgadas de ultrafiltração sucedeu pela ocorrência de certa fração de poros com tamanho superior ao indicado pelo fabricante das membranas. Também, resultados obtidos por Otaki *et al.* (1998), referentes ao desempenho de unidades piloto de ultrafiltração e nanofiltração para a separação de colifagos e poliovírus, indicaram que, apesar de os organismos estudados terem tamanhos similares, a remoção dos fagos foi inferior à obtida para poliovírus, evidenciando diferentes capacidades de rejeição de uma mesma membrana.

Atualmente na área de Saneamento Ambiental e mais particularmente no tratamento de águas e águas residuárias as membranas filtrantes aparecem como uma alternativa interessante, por estarem na vanguarda do avanço tecnológico, especialmente pelo fato de que mais recentemente os aspectos de competitividade de custos e de implementação das membranas tenham tornado as membranas mais favoráveis (GRULL, 2013).

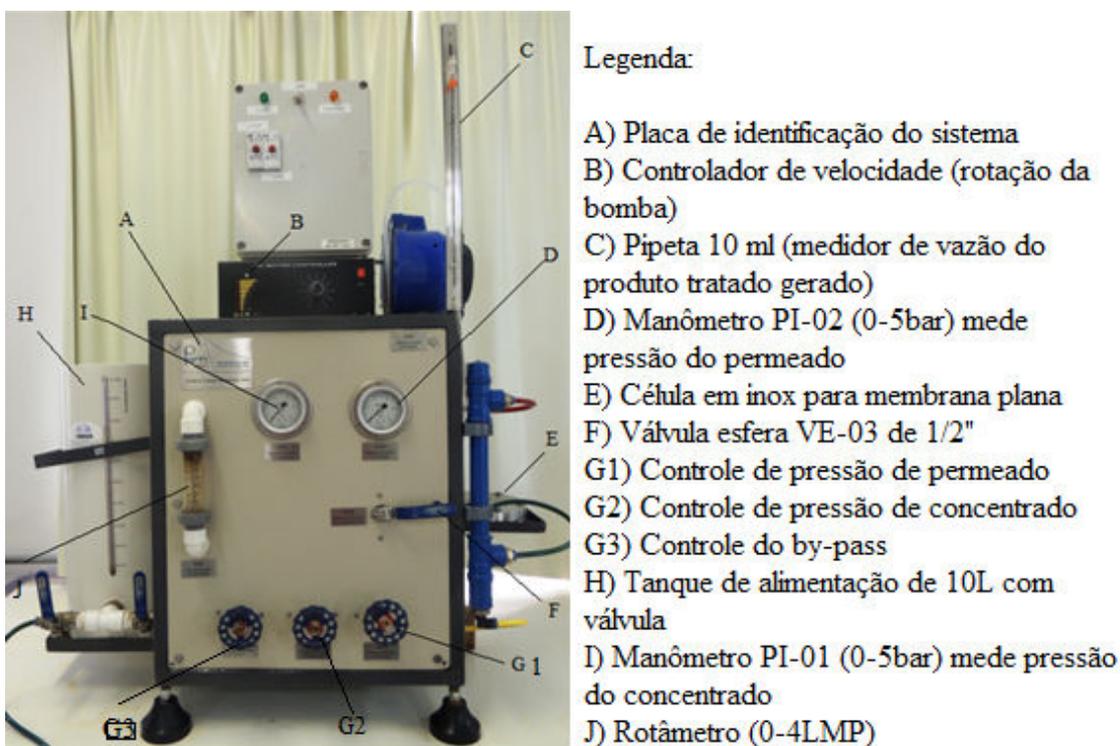
Na presente pesquisa foi investigado o emprego de membranas filtrantes como alternativas ao uso de desinfetantes químicos, para a remoção de microrganismos indicadores de contaminação fecal, abordando em particular as modalidades de microfiltração e ultrafiltração.

MATERIAL E MÉTODOS

Etapa experimental

A parte experimental da pesquisa foi realizado no Laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Ambiental, DENAM, da UNICENTRO. A unidade piloto de filtração de membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Unidade piloto de membranas de MF e UF.



Fonte: Neves, 2014.

Na primeira etapa determinaram-se as condições operacionais para as membranas de MF e UF. Foram testadas: pressão de operação, velocidade de escoamento e frequência de retrolavagem. Na segunda etapa foram avaliadas as eficiências das membranas na remoção dos microrganismos. Durante os experimentos, a unidade piloto de MF/UF operou com recirculação total de permeado (para simular escoamento contínuo) para o reservatório de alimentação, salvo quando necessária a coleta de amostras para as análises físico-químicas.

Os ensaios utilizando as membranas de MF e UF foram realizados em duplicata e serão denominados de A1 (ensaio1) e A2 (ensaio 2).

Água de estudo

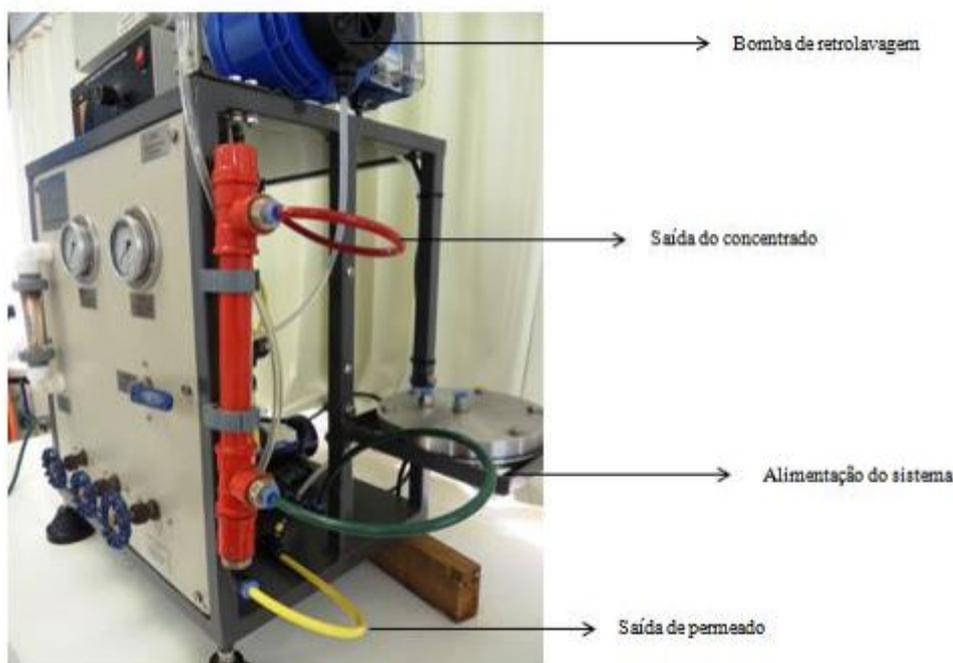
A água de estudo foi coletada na entrada de uma ETA municipal, a qual foi adicionado 1% de esgoto sanitário, rico em microrganismos de origem fecal cuja finalidade era aumentar a concentração de microrganismos indicadores. Foram coletados 20 litros de água para o estudo.

Características das membranas de MF e UF

As membranas utilizadas do tipo fibra oca possuíam geometria cilíndrica, eram fixadas em carcaça de policloreto de vinila (PVC) e área filtrante de 0,09 m². A ligação entre o módulo de filtração e o equipamento ocorreu da seguinte forma: a alimentação do módulo foi realizada pela mangueira de cor verde, o permeado percorria pela mangueira amarela retornando ao reservatório e o concentrado circulava pela mangueira vermelha, que também retornava ao reservatório (NEVES, 2014).

Na Figura 2 é representada a fotografia das ligações entre os módulos do sistema de membranas de MF e UF.

Figura 2 – Representação gráfica das ligações entre módulos dos sistemas de MF e UF.



Fonte: Neves, 2014.

Condições de operação

Na operação da unidade piloto foi utilizada vazão de 1,6 L/min., durante 120 minutos, operando com 3 litros de água para cada ensaio e pressão de 0,75 bar. Os testes de retrolavagem foram realizados para verificar a recuperação de fluxo permeado frente à operação de limpeza física das membranas. A retrolavagem foi imposta no intervalo de 10 minutos, retrolavando durante 60 segundos.

Durante a operação foram coletados 200 mL de amostra nos intervalos de 60 minutos e 120 minutos para os exames microbiológicos. Para análise de turbidez foram coletadas amostras a cada 15 minutos de operação nas membranas.

Análises físico-químicas e exames microbiológicos

Os microrganismos indicadores empregados foram: *E. coli* (indicadora de bactérias entéricas patogênicas), colifagos (indicadores de vírus entéricos), a bactéria formadora de esporos *Clostridium perfringens* (indicadora de protozoários) e Coliformes totais.

A caracterização físico-química da água foi realizada de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

Para o cultivo, preservação e quantificação de *E. coli* foi utilizado o meio de cultura *Chromocult Coliform Agar* e a técnica empregada para a quantificação de *E. coli* e de coliformes totais foi a técnica das membranas filtrantes com tamanho de poro de 0,45 micrômetros e contagem das unidades formadoras de colônias (UFC/100 mL).

Para isolamento e quantificação dos colifagos os meios de cultura utilizados foram o TSB (*Tryptic Soy Broth*) e o TSA (*Tryptic Soy Agar*) modificado. Para quantificação desses indicadores foi empregada a técnica de contagem viral em placa segundo a Norma CETESB L5. 225 (1990).

Para quantificação de *Clostridium perfringens* a metodologia empregada seguiu a técnica de tubos múltiplos, segundo a Norma CETESB/L5.213 (1993), tendo sido utilizados os meios de cultura microbiológicos DRCM (meio diferencial enriquecido para Clostrídios) na etapa presuntiva e o meio denominado *Litmus Milk* (leite desnatado e tornassol) na etapa confirmativa.

Cálculo do Fluxo do permeado

Fluxo de permeado (J) é volume que permeia por unidade de tempo (Q) e unidade de área de permeação da membrana (A). As unidades de fluxo volumétrico são representadas por L/m².h¹, assim, a permeabilidade de uma membrana pode ser comparada com outras membranas de áreas diferentes (Basseti, 2002).

$$J = \frac{Q}{A} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

J = Fluxo (L/m².h¹).

Q = Vazão (L/h)

A = Área da membrana disponível para filtração (m²).

A caracterização da permeabilidade hidráulica da membrana durante a operação da unidade piloto, foi realizada através das medidas de fluxos permeados, cronometrando-se o tempo para permear 10 mL em uma pipeta graduada a cada 15 minutos.

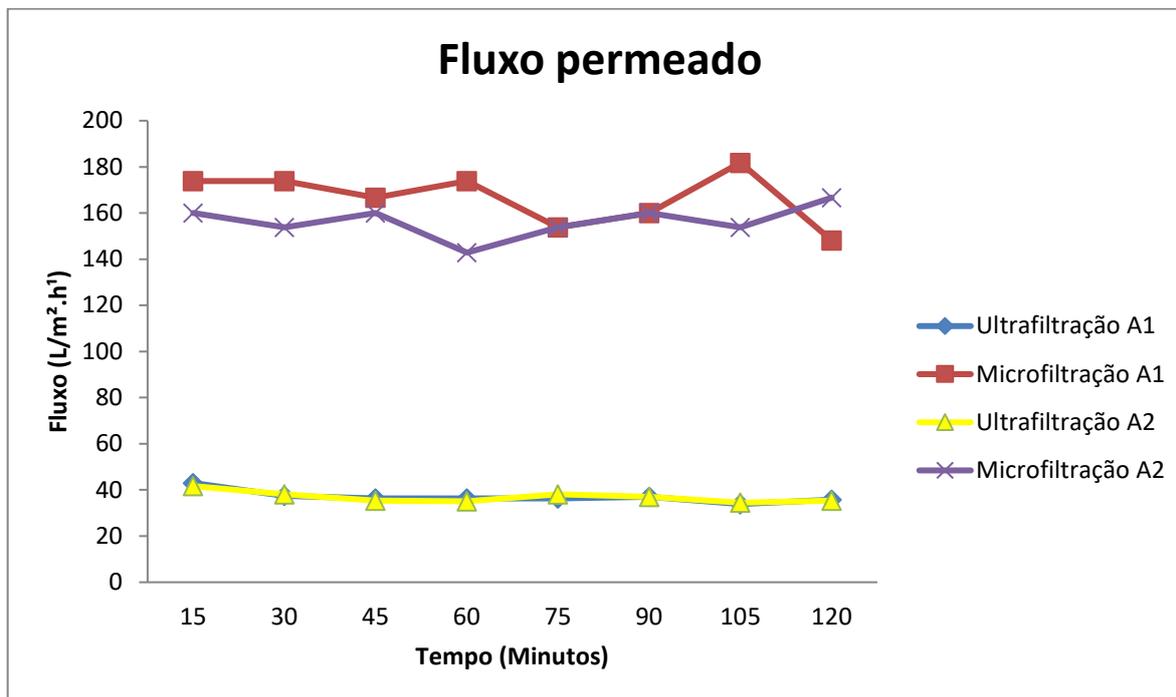
Limpeza química das membranas

Após a realização de cada ensaio de filtração utilizando membranas de MF e UF, foi realizada limpeza química das membranas, com o objetivo de auxiliar na remoção dos materiais incrustantes, microrganismos retidos e recuperar o fluxo inicial da membrana quando ela estava nova. Para realização da limpeza foi aplicada solução de hipoclorito de sódio (1000mg/L), na membrana aproximadamente por 60 minutos, mantendo as membranas submersas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento do fluxo permeado para cada membrana foi avaliado durante a operação da unidade piloto como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxo do permeado para as membranas MF e UF.



A partir dos resultados obtidos, pode-se notar que o fluxo do permeado para membranas de microfiltração apresentou valores bem superiores, por apresentar maior abertura de poros.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados obtidos nas análises das amostras de permeado, coletadas durante os ensaios denominados de A1 e A2, em que a variável de controle foi a turbidez.

Tabela 1 – Resultado das análises de permeado para o ensaio A1.

Ultrafiltração			Microfiltração		
Tempo (minutos)	Turbidez (uT)	Fluxo de Permeado (L/m².h¹)	Tempo (minutos)	Turbidez (uT)	Fluxo de Permeado (L/m².h¹)
Bruto	34,0	-	Bruto	35,6	-
15	3,30	43,01	15	0,53	173,91
30	3,70	37,38	30	2,39	173,91
45	0,38	36,36	45	0,35	166,66
60	3,85	36,36	60	0,25	173,91
75	0,40	36,36	75	0,43	153,84
90	0,95	37,03	90	0,38	160,00
105	0,26	33,89	105	0,25	181,81
120	0,28	35,71	120	0,30	148,15

Tabela 2 – Resultado das análises de permeado para o ensaio A2.

Ultrafiltração			Microfiltração		
Tempo (minutos)	Turbidez (uT)	Fluxo de Permeado (L/m ² .h ¹)	Tempo (minutos)	Turbidez (uT)	Fluxo de Permeado (L/m ² .h ¹)
Bruto	36,3	-	Bruto	35,8	-
15	3,78	41,66	15	0,21	160,0
30	4,53	38,09	30	0,25	153,5
45	0,18	35,39	45	0,38	160,0
60	0,16	35,08	60	0,35	142,8
75	0,19	38,09	75	0,26	153,8
90	0,35	37,03	90	0,29	160,0
105	0,24	34,48	105	0,17	153,8
120	0,22	35,39	120	0,20	166,6

Pelos dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 é possível observar expressiva redução da turbidez ao longo dos ensaios nos dois tipos de membrana estudados. Vale ressaltar que mesmo sem a prévia coagulação química da água foi possível atingir valores de turbidez reduzidos. De acordo com o padrão de potabilidade da água, Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a turbidez da água potável deve ser inferior a 1,0 uT. Além disso, para assegurar a adequada eficiência de remoção de microrganismos, recomenda-se que a turbidez seja inferior a 0,5 uT.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos exames microbiológicos realizados para as amostras de permeado coletadas.

Tabela 3 - Resultado dos exames microbiológicos de CT, *E. coli*, Colifagos e *C. perfringens*.

Ensaio	Ensaio 1				Ensaio 2			
	<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	CT (UFC/100mL)	<i>C. perfringens</i> (NMP/100mL)	Colifagos (UFP/100mL)	<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	CT (UFC/100mL)	<i>C. perfringens</i> (NMP/100mL)	Colifagos (UFP/100ml)
Bruto	6,5x10 ²	1,53x10 ³	>16x10 ³	7x10 ²	4,8x10 ²	1,41x10 ³	>16x10 ³	7,7x10 ²
Mf 60	0	3,2x10 ²	2,3x10 ²	0	0,1x10 ¹	2,6x10 ²	1,7x10 ²	0
Mf 120	0	9,5x10 ¹	1,7x10 ²	0	0	7,8x10 ¹	1,4x10 ²	0
UF 60	0	2,18x10 ²	4x10 ¹	0	0	1,3x10 ²	7x10 ¹	0
UF 120	0	1,57x10 ¹	6x10 ¹	0	0	1,9x10 ¹	9x10 ¹	0

Para *E. coli* obteve-se remoção de 100%, demonstrando excelente eficiência para as duas membranas. Para coliformes totais a eficiência de remoção na membrana de MF atingiu 94,1% e na UF chegou a 98,8%. Para o indicador *C. perfringens* a membrana de UF removeu 99,5%, comparado com 99,0% obtido na membrana de MF. Para remoção de colifagos ambas as membranas foram eficientes, removendo 100% desses microrganismos nos primeiros 60 minutos de operação.

Os elevados valores de eficiência obtidos foi também observado por Amaral (2011) utilizando a MF associada à tecnologia da flotação por ar dissolvido (FAD) para remoção de cianobactérias, onde obteve-se 100% de remoção, mostrando a eficiência do sistema de filtração por membranas para outros microrganismos.

Para Battistelli *et al.* (2016) as remoções de *E. coli* e CT para efluente de UASB obtidas na MF foram satisfatórias, porém, para a total inativação de colifagos e *Clostridium perfringens* foi necessária a etapa de desinfecção com radiação UV. A remoção de turbidez foi de 91,3%, comparado com 99% obtidos no presente estudo tratando água bruta apenas com membranas.

CONCLUSÕES

Com o presente trabalho podemos concluir que em relação à remoção do parâmetro turbidez, tanto a UF quanto a MF se mostraram eficientes, apresentando, na maioria das vezes, resultado em conformidade com a portaria MS 2.914/2011.

Para a remoção microbiológica, concluiu-se que foram excelentes os percentuais de remoção dos microrganismos indicadores *E.coli* e colifagos, obtendo-se menores eficiências de remoção para Coliformes totais e *C. perfringens*, ressaltando-se a ausência da adição de agentes químicos desinfetantes na inativação dos microrganismos estudados.

Os resultados obtidos permitem-nos observar que a separação por membranas pode ser uma excelente alternativa para as estações de tratamento de água para abastecimento público, com a produção de água de melhor qualidade, além de vantagens em relação aos processos convencionais de tratamento de água, principalmente em relação à simplicidade de operação e manutenção, menor necessidade de produtos químicos e menor produção de lodo, uma vez que essa tecnologia permite a eliminação de parcela considerável dos microrganismos e turbidez presentes na água, interferindo positivamente na sua qualidade e, conseqüentemente, na saúde da população.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica e pelo apoio financeiro para participação no evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, P. A. P. **Utilização da flotação por ar dissolvido associada a microfiltração para remoção de cianobactérias em águas de abastecimento.** Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
2. APHA. **American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20ed. Washington: American Public Health Association, 1998.
3. BASSETTI, F. J. **Preparação, caracterização e aplicação de membranas poliméricas microporosas assimétricas.** (Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 180 p, 2002.
4. BATTISTELLI A. A.; VIDAL C. M. S.; SOUZA J. B.; CAVALLINI G. S. **Tratamento Avançado de Efluente de Reator UASB por Membrana de Microfiltração Associado à Desinfecção por Radiação Ultravioleta.** Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 37, n. 1, p. 45-54, jan./jun. 2016.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre 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, Brasília, DF, Seção 1, 04 de janeiro de 2012, p. 43-49.
6. CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Determinação de colifagos em amostras de água.** Método de ensaio L5/225. 24 p. São Paulo, 1990.
7. CETESB, 1993 (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Clostridium perfringens – determinação de amostras de água pela técnica dos tubos múltiplos.** Método de ensaio L5/213. 27 p. São Paulo, julho, 1993.
8. GONÇALVES, R. F (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, ABES, RiMa, 2003,422 p.

9. GRULL, D. **Remediação e readequação de sistemas aquáticos superficiais contaminados.** In: Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão/ coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gasparini Fernandes Cunha. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789p.
10. JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 7 ed. Rio de Janeiro, 2014. 1050p.
11. MIERZWA, J.C.; SILVA, M.C.C.; RODRIGUES, L. B. **Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado.** Engenharia Sanitária Ambiental n. 1, vol. 13, São Paulo, 2008.
12. NEVES, L. C. **Aplicação de microfiltração e ultrafiltração como pós-tratamento de efluente de lodo ativado em uma indústria de papel e celulose.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, 2014.
13. OTAKI, M.; YANO, K.; OHGAKI, S. **Virus removal in a membrane separation process.** Water Science and Technology, Oxford, v. 37, 1998.
14. REALI, M.A.P; SABOGAL PAZ, L.P.; DANIEL, L.A. **Tratamento de água para consumo humano.** In: Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão/ coordenadores Maria do Carmo Calijuri, Davi Gasparini Fernandes Cunha. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789p.