

## XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **AVALIAÇÃO DA ASSOCIAÇÃO DE MEMBRANAS DE ACETATO DE CELULOSE COM GAC UTILIZADAS EM MÓDULO GRAVITACIONAL DE USO DOMÉSTICO DESTINADO PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA**

*Flávia Vieira da Silva<sup>1</sup>, Taíse Bonfim Martins<sup>2</sup>, Francielle Pelegrin Garcia<sup>3</sup>, Angélica Marquetotti Salcedo Vieira<sup>4</sup>, Maria Teresa Pessoa de Amorim<sup>5</sup>, Célia Regina Granhen Tavares<sup>6</sup>, Rosângela Bergamasco<sup>7</sup>*

**Resumo:** Este trabalho compara o desempenho de membrana comercial de acetato de celulose (diâmetro de poro de 0,80µm) com a membrana associada com carvão ativado granular na melhoria da qualidade da água tratada. A avaliação das membranas foi realizada em um módulo gravitacional, no qual foram realizadas medidas de fluxo para cálculos de porcentagem de *fouling* e resistência. Foram realizados testes de redução de cor, turbidez, cloro e variação de pH com água tratada, bem como a avaliação da eficiência bacteriológica com água contaminada artificialmente. Os resultados obtidos mostraram que a associação com carvão ativado reduziu a o *fouling* para 85%, em comparação com a membrana trabalhando sozinha, 88%. Além disso, a associação com carvão ativado reduziu consideravelmente a resistência devido à formação de torta e ao entupimento de poros. Durante os testes com água tratada, observou-se que a membrana comercial proporcionou 82% de remoção de turbidez, enquanto que o sistema híbrido (carvão+membrana) apresentou os melhores resultados de remoção de cloro e de eficiência bacteriológica, 98,33 e 99,84% respectivamente, contra 90,33 e 99,67% da membrana comercial utilizada sozinha. Estes resultados sugerem que a associação com carvão ativado proporciona redução nos efeitos do *fouling* e oferece vantagens na remoção dos parâmetros analisados.

**Abstract:** This study compares the performance of commercial membrane of cellulose acetate (pore size of 0.80 µm) working alone with the association of the membrane with granular activated carbon to improve the quality of drinking water in a gravitational system. The evaluation of the membranes was carried out in a gravitational module, in which flow measurements were performed for calculations of percentage and fouling resistance. Tests were performed to evaluate the reduction of color, turbidity, chlorine and pH variation with treated water, as well as evaluating the bacteriological efficiency with artificially contaminated water. The results show that the association with activated carbon reduced the fouling to 85% compared with the membrane working alone, 88%. Moreover, the association with activated carbon significantly reduced the resistance due to cake formation and the clogging of pores. During tests with treated water, it was noted that commercial membrane gave 82% removal of turbidity, while the hybrid system (carbon + membrane) showed the best removal efficiency of chlorine and bacteriological, 98.33 and 99.84% respectively, against 90.33 and 99.67% of the commercial membrane used alone. These results suggest that the association with activated carbon provided reduction in the fouling effects and offered advantages in the removal of parameters.

**Palavras chave:** água tratada, membrana, carvão ativado.

---

1) Doutoranda da UEM, DEQ, Av. Colombo 5790, B. D-90, Maringá-PR, BR, CEP: 87020-900 - [flaviaeq@yahoo.com.br](mailto:flaviaeq@yahoo.com.br)

2) Aluna da UEM, DEQ, Av. Colombo 5790, B. D-90, Maringá-PR, BR, CEP: 87020-900 - [taise1590@gmail.com](mailto:taise1590@gmail.com)

3) Aluna da UEM, DAC, Av. Colombo 5790, B. D-90, Maringá-PR, BR, CEP: 87020-900- [francielle\\_pg@hotmail.com](mailto:francielle_pg@hotmail.com)

4) Professora Adjunta da UEM, DEQ, Av. Colombo 5790, B. D-90, Maringá-PR, BR, CEP: 87020-900- [amsvieira@uem.br](mailto:amsvieira@uem.br)

5) Professora da Universidade do Minho, DET, Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, PT - [mtamorim@det.uminho.pt](mailto:mtamorim@det.uminho.pt)

## 1. INTRODUÇÃO

A tecnologia convencional de tratamento de água envolve, de maneira geral, a coagulação com sais de ferro ou alumínio, a sedimentação, a filtração e a desinfecção com cloro. A combinação destes tratamentos tem por objetivo a remoção de organismos patogênicos, incluindo protozoários, bactérias e vírus. Também visa à remoção de odores, de compostos que afetam o gosto da água tratada, e de compostos (ferro, manganês e sílica) que podem formar precipitados nas superfícies dos sistemas de distribuição (Schneider e Tsutiya, 2001).

O cloro e seus derivados são largamente empregados como agentes desinfetantes no tratamento convencional de água, pois são materiais relativamente baratos e efetivos contra a maioria de microrganismos que transmitem doenças de veiculação hídrica (Antoniadis *et al.*, 2007). Contudo, a reação do cloro com a matéria orgânica presente na água pode dar origem a vários subprodutos que são potencialmente carcinogênicos, especialmente os trihalometanos (THM) e os ácidos haloacéticos (HAA) (Panyakapo *et al.*, 2008).

Em países em desenvolvimento, mesmo se as unidades de tratamento de água forem construídas, a manutenção e monitoramento podem não ser executados corretamente devido a uma série de fatores, comprometendo a qualidade da água de consumo (Brick *et al.*, 2004). Também é preciso considerar as quedas de pressão na rede de distribuição de água que ocorrem nas cidades durante os frequentes períodos de racionamento, possibilitando a entrada de água contaminada na rede, que é levada à caixa d'água do usuário na fase seguinte de fornecimento, apesar da aplicação de cloro. Em consequência, a qualidade da água que chega à torneira do consumidor final, nem sempre é garantida. (Rebouças, 2004). Além disso, avarias nas tubulações e também a assepsia precária nas caixas de águas domiciliares (falta de limpeza periódica, caixas sem tampa, etc.) podem também contaminar a água na etapa em que é levada até o consumidor.

Para garantir que a água de consumo que chega ao consumidor final tenha qualidade assegurada, sistemas descentralizados simples podem ser utilizados como um método de pós-tratamento, especialmente em áreas que não contam com um sistema de abastecimento e/ou quando o sistema centralizado não garante água na quantidade e/ou qualidades esperadas (Peter-Varbanets, *et al.*, 2010). Nestes casos, pode ser feita a aplicação de tecnologias não-convencionais de tratamento, utilizando-se, por exemplo: radiação ultravioleta (UV), ozônio, membranas microporosas, filtração em carvão ativado, zeólitas, resinas de troca iônica entre outros, pois estas tecnologias são eficazes na remoção de diversos tipos de contaminantes.

Entre as tecnologias não-convencionais, a filtração por meio de membranas é uma das mais difundidas. Trata-se de um processo no qual as membranas desempenham o papel de uma barreira

seletiva que restringe a passagem de certos poluentes presentes na água, entre os quais microrganismos, íons e compostos orgânicos. O processo de separação por membranas é eficiente na remoção de partículas e promove uma barreira absoluta para bactérias e vírus, além de remover turbidez e cor (Teixeira, 2001; Tam *et al.*, 2007).

A associação de membranas com carvão ativado vem sendo estudada, cada vez mais, como processos avançados para o tratamento e obtenção de águas potáveis, pois apresenta várias vantagens no desempenho de operação e tratamento, conduzindo a uma operação estável do sistema de filtração e alta qualidade da água obtida (Kim *et al.*, 2007).

Este trabalho tem como objetivo avaliar membranas poliméricas de microfiltração e sua associação com carvão ativado para reduzir os efeitos do *fouling* em um sistema gravitacional de filtração, empregado na melhoria da qualidade da água destinada ao consumo humano.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas membranas planas de microfiltração (Advantec MFS Inc., Japão), fabricadas em acetato de celulose (tamanho de poro = 0,80  $\mu\text{m}$ ).

O carvão ativado foi escolhido como pré-tratamento para a membrana, com o intuito de apresentar menor resistência ao fluxo. Sendo assim, optou-se por utilizar carvão ativado granular (GAC) ao invés de carvão ativado em pó (PAC), procurando assim evitar os efeitos de perda de carga que poderiam ocorrer com a aplicação de PAC. Foi utilizado carvão ativado obtido da casca de coco de dendê, 16X40 mesh (Bahiacarbon Agroindustrial Ltda.).

As morfologias internas e superficiais das membranas foram verificadas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), em microscópio eletrônico FEI, modelo Nova 200 NanoSEM.

O carvão ativado também foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV), porém em microscópio Shimadzu SS550 – Scanning Electron Microscope. Além disso, também foi avaliada a espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR-ATR) em equipamento Varian série 7000, para a determinação dos grupos funcionais na superfície do carvão ativado.

A avaliação da membrana e do sistema híbrido membrana+carvão ocorreu em um sistema de filtração gravitacional simulando um filtro para uso doméstico, como no esquema mostrado na Figura 1.

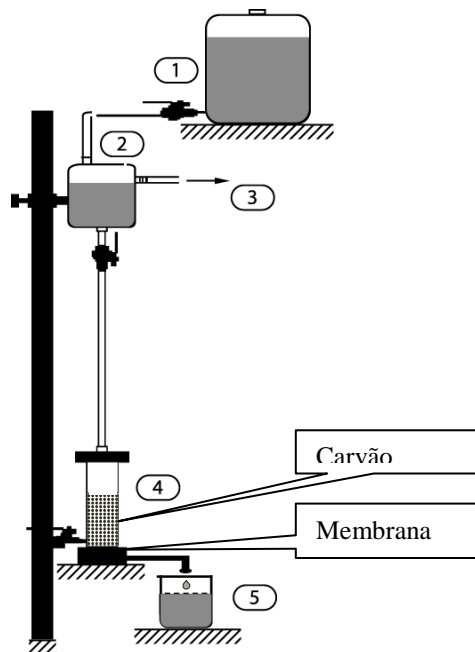


Figura 1: Esquema do sistema de filtração gravitacional

O módulo gravitacional utilizado neste trabalho conta com um tanque principal de 20L de capacidade (1), que armazena a água a ser tratada e supre o tanque de alimentação (2). Adicionalmente, o sistema conta com um dreno (3) para manter o nível de água constante no tanque de alimentação, garantindo assim que a altura da coluna d'água seja sempre a mesma ao longo de todos os ensaios. O tanque de alimentação está colocado a uma altura de 3,1 metros em relação ao módulo de filtração (4), garantindo uma pressão de trabalho de 30397.5 Pa (3,1 m de coluna d'água). As membranas planas eram colocadas na parte de baixo do módulo, conforme indicado na Figura 1. A superfície efetiva da membrana era de  $1,962 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ , e o permeado era coletado perpendicularmente à área da membrana (5), caracterizando uma operação de filtração perpendicular.

A metodologia utilizada nos ensaios de avaliação das membranas (com e sem o pré-tratamento com carvão) foi desenvolvida com base na NBR 15176:2004, que regulamenta os ensaios aplicados na verificação de aparelhos gravitacionais destinados para a melhoria da qualidade da água tratada para uso doméstico. Os testes foram realizados em cinco etapas sequenciais:

Etapa 1 - Determinação do fluxo permeado inicial de água desionizada. Este ensaio foi realizado com a membrana limpa durante 120 min, com o auxílio de balança e copos descartáveis previamente pesados.

Etapa 2 - Filtração de água desionizada contaminada artificialmente com *Escherichia coli* (*E. coli*), sendo que a concentração da suspensão final continha entre  $1,0 \times 10^5$  e  $1,0 \times 10^6$  UFC/100mL, conforme especificado na NBR 15176:2004.

Etapa 3 - Quatro filtrações subseqüentes de água de torneira durante 120 min, totalizando um tempo total de 480 min de filtração. Este tempo foi padronizado por ter sido suficiente para reduzir o fluxo para aproximadamente 10% do fluxo inicial.

Etapa 4 - Segunda filtração água contaminada artificialmente com *E. coli*, conforme descrito na Etapa 2. Este teste teve o objetivo de avaliar a eficiência bacteriológica da membrana depois da filtração de água de torneira, ou seja, a eficiência bacteriológica da membrana usada. Este segundo ensaio bacteriológico é realizado conforme indicado na NBR 15176:2004.

Etapa 5 - Determinação do fluxo permeado final de água desionizada durante 120 min, com o objetivo de calcular a porcentagem de *fouling*.

As características médias da água de torneira disponível no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (DEQ/UEM) utilizada na Etapa 3 estão listadas na Tabela 1. A concentração de cloro livre foi ajustada para 1,5~2,0 mg/L utilizando-se uma solução de hipoclorito de sódio 14% em peso. A remoção de cor, turbidez, cloro livre, a variação de pH e o volume total filtrado foram avaliados para todos os sistemas de acordo com as Standard Methods (APHA, 1995). Para avaliar a eficiência bacteriológica (etapas 2 e 3) foi utilizada a técnica da membrana filtrante, também de acordo com o Standard Methods (APHA, 1995).

Tabela 1: Características da água de torneira utilizada

Parâmetros	
Cor (UC)	1,0
Turbidez (UT)	0,67
pH	7,26

A porcentagem de *fouling* (%F) foi calculada de acordo com a equação (1), conforme proposto por Balakrishnan *et al.* (2001), utilizando os valores de fluxo estabilizado, que foi considerado quando os valores de fluxo tendem para um valor constante. Esta porcentagem representa a queda no fluxo de água desionizada após os testes de filtração de água da torneira e água contaminada. Na equação (1), %F é a porcentagem de *fouling*,  $J_i$  é o fluxo inicial obtido na Etapa 1 e  $J_f$  é o fluxo final de água desionizada obtido na Etapa 5, respectivamente.

$$\% F = \frac{(J_i - J_f)}{J_i} \times 100 \quad (1)$$

Além disso, a resistência total durante os processos de filtração com água da torneira e com água contaminada foi calculada ponto a ponto, e com esses dados construiu-se gráficos da resistência total em função do tempo. A partir desses gráficos foi possível identificar os

mecanismos dominantes de *fouling* durante a filtração de água da torneira (Etapa 3). A resistência total foi definida de acordo com a equação (2). Este método foi descrito anteriormente por Duclos-Orsello *et al.* (2006) e Tracey e Davis (1994).

$$R_t = \frac{\Delta P}{\eta J} \quad (2)$$

### 3. RESULTADOS

A micrografia obtida para a membrana de 0,80 $\mu$ m comercial com magnitude de 5.000X está apresentada na Figura 2.

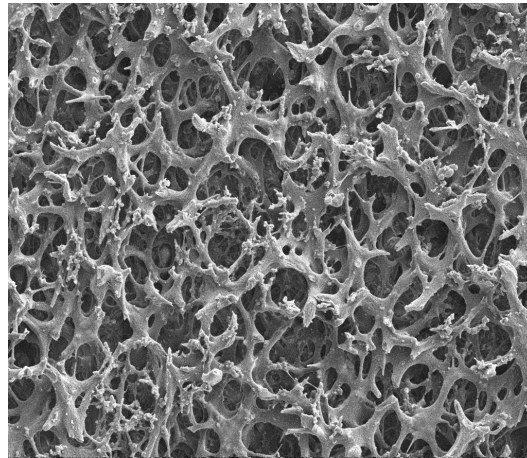


Figura 2: Micrografia da membrana comercial de 0,80 $\mu$ m

Conforme é possível observar na Figura 2, a membrana utilizada apresenta poros bem distribuídos ao longo de toda a superfície, o que pode facilitar a retenção dos contaminantes avaliados neste trabalho.

A Figura 3 apresenta a imagem de MEV obtida para o carvão ativado puro com magnitude de 3000X.

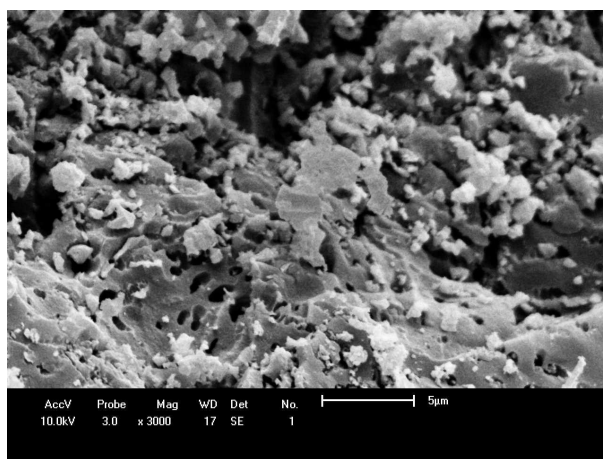


Figura 3: Imagem de MEV do carvão ativado puro

A partir da Figura 3 é possível observar a presença de cavidades de formas e tamanhos diferentes. Como essas cavidades são aparentemente bem distribuídas, são importantes para facilitar o acesso dos contaminantes presentes na água.

Os resultados obtidos para o carvão ativado puro durante as medidas de FTIR podem ser observados na Figura 4.

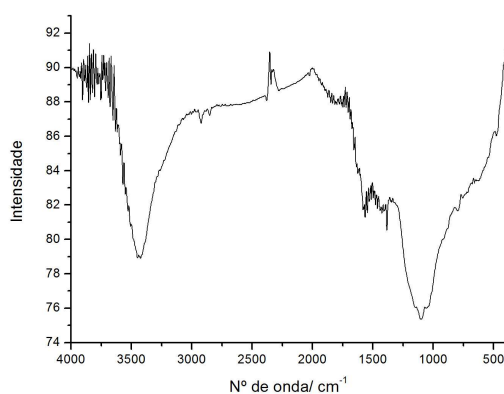


Figura 4: Espectro de infravermelho do carvão ativado puro

Foram encontrados dois picos significativos no espectro de infravermelho obtido para o carvão ativado. Os picos não estão bem definidos e aparecem na forma de bandas largas, indicando que na verdade ocorreu uma sobreposição de picos (Cientfuegos, 2004). A banda observada em torno de  $3500\text{ cm}^{-1}$  é referente ao grupo funcional O-H e ocorre devido à presença de grupos carboxílicos. Já a banda observada em torno de  $1000\text{ cm}^{-1}$ , se refere ao grupo funcional C-O, indicando a possível presença de fenóis, ésteres ou lactonas na superfície do carvão.

A Figura 5 ilustra os valores obtidos de fluxo medidos com água desionizada (Etapas 1 e 5) para a membrana de 0,80µm, comercial e também da associação da membrana com carvão ativado granular.

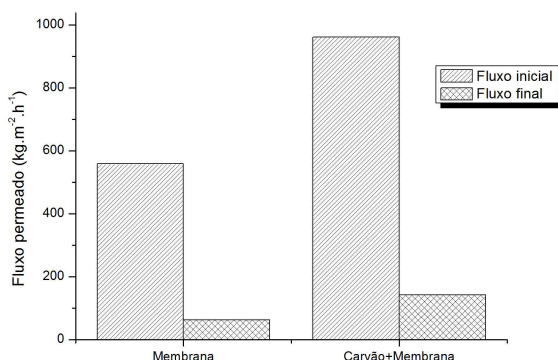


Figura 5: Fluxo permeado (inicial e final) para as membranas de 0,80 µm

Em relação à Figura 5, nota-se que a aplicação de GAC como pré-tratamento melhorou significativamente o desempenho da membrana de 0,80µm em relação ao fluxo inicial e final. O fluxo inicial para o sistema híbrido foi de aproximadamente 962 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>, enquanto que a membrana operando sozinha apresentou fluxo inicial em torno de 560 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup>. Já o fluxo final ficou em torno de 142 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> para membrana com GAC como pré-tratamento e 33 kg.m<sup>-2</sup>.h<sup>-1</sup> para a membrana operando sozinha. Estes resultados podem estar relacionados com a porção de matéria orgânica que é removida pelo adsorvente (Kang e Choo, 2010).

A Tabela 2 apresenta a porcentagem de *fouling* calculada de acordo com a equação (1).

Tabela 2 – Percentual de *fouling* determinado para filtração com membranas sem modificação e com a membrana modificada com o carvão.

Membrana	%F
Sem modificação	88,73
Modificada com Carvão	85,24

O sistema híbrido carvão+membrana apresentou porcentagem de *fouling* ligeiramente menor que a membrana operando sozinha. Este resultado está de acordo com o observado na literatura (Kang e Choo, 2010).

A Figura 6 mostra os resultados de fluxo obtidos durante os ensaios com água da torneira, realizados de acordo com a etapa 3.



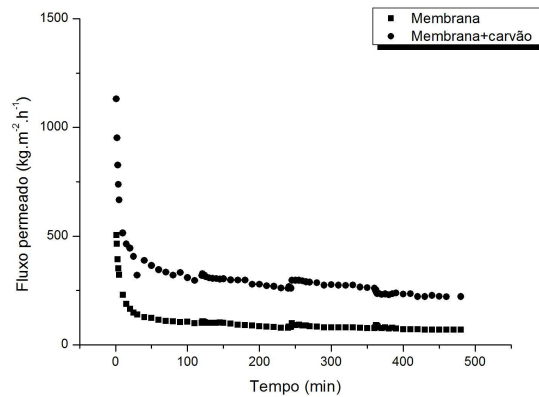


Figura 6: Fluxo permeado de água da torneira para as membranas de 0,80 µm

De acordo com a Figura 6, o fluxo permeado medido com água da torneira foi mais alto para o sistema híbrido ao longo dos 480 minutos de operação. No início deste ensaio, foi observado um fluxo permeado maior que  $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , atingindo valores de aproximadamente  $222 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  ao final dos ensaios com água da torneira. O aumento no fluxo quando se utiliza o sistema híbrido se deve à capacidade do carvão de adsorver a fração de matéria orgânica que pode causar *fouling* (Tomaszewska e Mozia, 2002; Kim *et al.*, 2007; Xia *et al.*, 2007).

Os gráficos de resistência total para as membranas de 0,80 µm são apresenta dos na Figura 7.

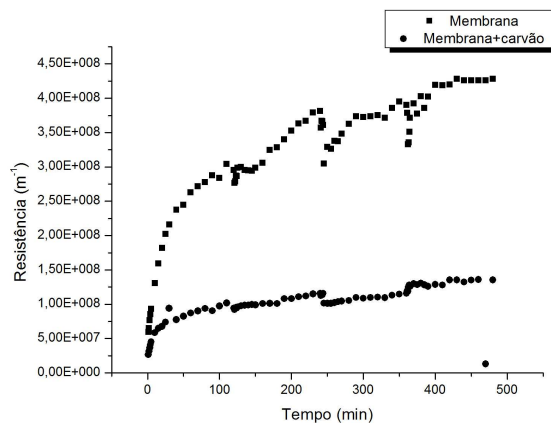


Figura 7: Resistência ao fluxo de água da torneira para as membranas de 0,80 µm

Os resultados reportados na Figura 7 mostram que a formação de torta é o principal mecanismo de *fouling* para as membranas de 0,80 µm comercial e associada com carvão ativado, já que apresentam porções claramente côncavas (Duclos-Orsello *et al.*, 2006).

O sistema híbrido apresentou valores de resistência bem menores que os observados para a membrana operando sozinha. De acordo com o que foi discutido para o fluxo permeado (Figura 6), é possível dizer que a utilização de carvão como pré-tratamento diminui os efeitos de *fouling* na superfície da membrana.

A Tabela 3 mostra os valores obtidos para o volume total de água filtrada ao longo dos 480 minutos de operação dos sistemas com água da torneira (Etapa 3).

Tabela 3: Volume filtrado utilizando as membranas sob filtração de água da torneira

Membrana	Volume (L)
Sem modificação	10
Modificada com Carvão	25

Conforme o comportamento observado na avaliação de fluxo permeado (Figura 6) e de resistência (Figura 7), o sistema híbrido apresentou aumento significativo do volume de água filtrada.

A remoção de cor foi de 100% para a membrana comercial e para o sistema híbrido ao longo dos 480 minutos de operação com água da torneira. Os gráficos de remoção dos demais parâmetros são apresentados a seguir.

Os dados de remoção de turbidez para as membranas de 0,80  $\mu\text{m}$  durante os ensaios com água da torneira são apresentados na Figura 8.

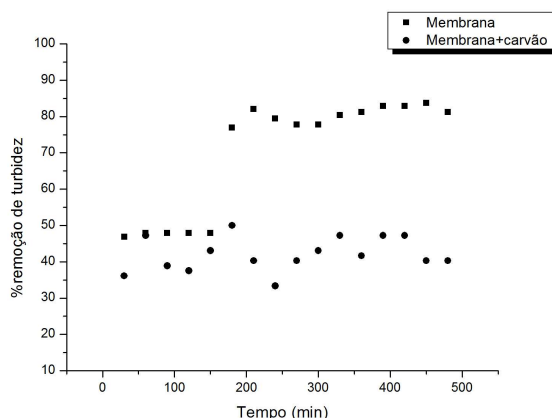


Figura 8: Remoção de turbidez para as membranas de 0,80 $\mu\text{m}$

A Figura 8 mostra que a aplicação de carvão ativado como pré-tratamento causa uma diminuição na porcentagem de remoção de turbidez. O ocorrido pode ser justificado pela presença de partículas finas de carvão na amostra utilizada.

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos de remoção de cloro para as membranas de 0,80  $\mu\text{m}$ .

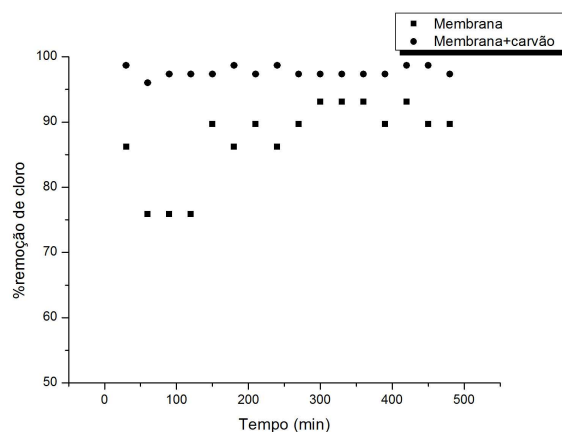


Figura 9: Remoção de cloro para as membranas de 0,80µm

O sistema híbrido apresentou o melhor desempenho na remoção de cloro, sempre próximo de 100%. Estes resultados também estão de acordo com relatos existentes na literatura (Jaguaribe *et al.*, 2005; Bolto *et al.*, 2002). As características do carvão ativado utilizado, conforme mostram as Figuras 3 e 4, também contribuíram para o melhor desempenho em relação à remoção de cloro.

A Figura 10 mostra as variações de pH para as membranas de 0,80µm durante os ensaios com água da torneira.

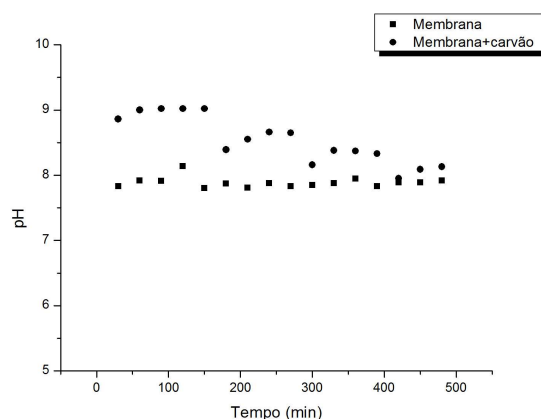


Figura 10: Variação de pH para as membranas de 0,80µm

De acordo com a Figura 10, os resultados de pH ficaram entre 8,0 e 9,0 para a membrana de 0,80 µm comercial e associada com carvão ativado, ou seja, tanto a filtração somente com a membrana quanto no sistema híbrido alteraram o pH da água da torneira, que apresentou média de 7,26 (Tabela 1). Porém os resultados de pH foram mais altos para o sistema híbrido, o que pode ser justificado pela presença de grupos alcalinos na superfície do carvão (Figura 4).

Os resultados de eficiência bacteriológica estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados de remoção de *E. coli* (%) para as membranas de 0,80 µm

Membrana	Inicial	Final
Sem modificação	99,67	94,42
Modificada com Carvão	99,84	95,00

A Tabela 4 indica que a eficiência bacteriológica, em termos de remoção de *E. coli*, inicial para as membranas de 0,80µm ficou entre 97 e 99%, sendo que o sistema mais eficiente foi o sistema híbrido carvão+membranas, com 99,84% de remoção. Já a eficiência bacteriológica final foi de pelo menos 94% para todos os sistemas avaliados.

#### 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o sistema de membrana e o sistema híbrido fornecem água com qualidade semelhante, porém, o sistema híbrido apresentou maior fluxo permeado e menor porcentagem de *fouling*. Com isso, a associação da membrana com carvão ativado foi capaz de produzir um volume muito maior de água nessas condições e operando durante o mesmo intervalo de tempo, o que está de acordo com resultados previamente publicados na literatura.

Desta forma, é possível afirmar que a utilização do módulo gravitacional com a membrana de microfiltração associada com carvão ativado é de grande eficiência na produção de água potável de melhor qualidade, mostrando-se assim, como boa alternativa para o pós-tratamento da água destinada ao consumo humano.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro e à empresa Purific do Brasil Ltda pela doação do carvão ativado granular.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANTONIADIS, A., POULIOS, I., NIKOLAKAKI, E., MANTZAVINOS, D. (2007) “Sonochemical disinfection of municipal wastewater”, *Journal of Hazardous Materials*, v.146, pp. 492-495.
- APHA – American Public Health Association, Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater (1995), 19<sup>th</sup> ed., Washington, D.C.
- BALAKRISHNAN, M., DUA, M.KHAIRNAR, P.N. (2001) “Significance of membranes type and feed stream in the ultrafiltration of sugar juice”, *Journal of Separation Science and Technology*, v. 36, n. 4, pp. 619-637.

- BOLTO, B.; DIXAN, D.; ELDRIDGE, R.; KING, S. (2002) Removal of THM precursors by coagulation of ion exchange, *Water Research*, v.36, p.5066–5073.
- BRICK, T., PRIMROSE, B., CHANDRASEKHAR, R., ROY, S., MULIYIL, J., KANG, G. (2004) “Water contamination in urban south India: household storage practices and their implications for water safety and enteric infections”, *International Journal of Hygiene and Environmental Health* v. 207, pp. 473-480.
- CIENTFUEGOS, F. (2003) “Fundamentos da espectrometria de infravermelho”. *Química e derivados* 413, pp. 40-50.
- DUCLOS-ORSELLO, C., LI, W.Y., HO, C.C. (2006) “A three mechanism model to describe fouling of microfiltration membranes”, *Journal of Membrane Science*, v. 280, pp. 856-866.
- KANG S.-K., CHOO K.-H., 2010, “Why does a mineral oxide adsorbent control fouling better than powdered activated carbon in hybrid ultrafiltration water treatment?”, *Journal of Membrane Science*, v.355, pp. 69–77.
- KIM, H.-S., TAKISAWA, S., OHGAKI, S. (2007) “Application of microfiltration systems coupled with powdered activated carbon to river water treatment”, *Desalination*, v. 202, pp. 271-277.
- PANYAKAPO, M., SOONTORNCHAI, S., PAOPUREE, P. (2008) “Cancer risk assessment from exposure to trihalomethanes in tap water and swimming pool water”, *Journal of Environmental Science*, v. 20(3), pp.372-378.
- PETER-VARBANETS, M., ZURBRÜGG C., SWARTZ, C., PRONK, W. (2009) “Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology”, *Water Research*, v. 43, pp. 245 – 265.
- PORTARIA n.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004, do Ministério da Saúde.
- REBOUÇAS, A. (2004) *Uso inteligente da água*, São Paulo, Brasil, Câmara Brasileira do Livro, Escrituras Editora.
- SCHNEIDER, R.P., TSUTIYA, M.T. (2001) *Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso*, ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental- Capítulo Nacional da AIDIS, São Paulo, ep. 234.
- TAM, L.S., TANG, T.W., LAU, G.N., SHARMA, K.R., CHEN, G.H. (2007) "A pilot study for wastewater reclamation and reuse with MBR/RO and MF/RO systems", *Desalination*, v. 202, pp. 106–113.
- TEIXEIRA, M.M.C.G.R. (2001) *Ultrafiltração no tratamento de água para consumo humano*, Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- TOMASZEWSKA, M.; MOZIA, S. (2002) “Removal of organic matter from water by PAC/UF system”, *Water Research*, v. 36, n. 16, pp. 4137–4143.

- TRACEY M., DAVIS, R.H. (1994) "Protein fouling of track-etched polycarbonate microfiltration membranes", *Journal of Colloid Interface Science*, v. 167, pp. 1994. 104-116.
- XIA, S.-J., LIU, Y.-N., LI, X., YAO, J.-J. (2007) "Drinking water production by ultrafiltration of Songhuajiang River with PAC adsorption, *Journal of Environmental Science*, v. 19, pp. 536-539.