

I-007 - AVALIAÇÃO DA MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE IRATI/PR

Natália Brugnago⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Carlos Magno de Sousa Vidal

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná.

Tiago José Belli

Doutor em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro Oeste, Campus de Irati – PR 153, km 7- Riozinho - Irati-PR – CEP 84500-000 – Brasil - Tel: (42) 34213211 – e-mail: nataliabrugnago@gmail.com

RESUMO

O uso de unidades de microfiltração no tratamento de água está se expandindo cada vez mais devido ao eficiente desempenho destes sistemas na remoção de partículas e microrganismos, aliada a compacidade das unidades de tratamento. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o processo de microfiltração como alternativa para o tratamento de água para abastecimento. Para isso, foram realizados ensaios em um sistema piloto de microfiltração utilizando-se água bruta da ETA da cidade de Irati/PR, a mesma usada no tratamento para o abastecimento público da cidade. O experimento mostrou bons resultados em termos de remoção de turbidez, cor aparente e cor verdadeira. Foram alcançados na melhor condição operacional 1,05uT de de turbidez, 5uH de cor aparente e 30uH de cor verdadeira, tendo obtido os seguintes percentuais de remoção 78%, 93 % e 80%, respectivamente. A remoção de *E. coli* e coliformes totais obtida foi satisfatória tendo uma redução de 99,9% em ambos os casos. O fluxo médio de permeado obtido no experimento foi de 278,7 L/h/m².

PALAVRAS-CHAVE: Microfiltração, Tratamento de Água, Abastecimento humano.

INTRODUÇÃO

Uma tecnologia que vem sendo empregada com maior frequência no tratamento de águas para abastecimento público e águas residuárias são as membranas filtrantes. Este sistema consiste na separação das fases líquida e sólida de maneira eficiente por meio de uma membrana, deixando o meio líquido com uma boa qualidade no que se refere à concentração de sólidos suspensos, microrganismos e matéria orgânica. Anadão (2006) define o uso de membranas como a técnica que abrange um agrupamento de processos de separação distintos, que oferecem um amplo espectro de aplicações, conferindo versatilidade às mesmas.

Recentemente, tem-se observado grande disseminação dessa tecnologia no setor de saneamento. A associação das membranas filtrantes aos processos convencionais de tratamento de efluentes e água para abastecimento tem mostrado ser uma alternativa bastante promissora, haja visto o elevado grau de depuração alcançado (PELEGRIN, 2004).

Segundo Schneider & Tsutiya (2001) algumas motivações para a utilização da tecnologia de membranas no setor de saneamento está associada à redução nos custos de construção e operação das unidades de tratamento, tornando esta tecnologia competitiva em relação aos sistemas convencionais usualmente aplicados para o tratamento de água e esgoto. Este autor destaca ainda a maior eficiência alcançada na remoção de patógenos e contaminantes químicos quando a filtração por membranas é empregada, gerando um efluente final capaz de atender aos limites legais cada vez mais rigorosos.

Diversos fatores contribuem para a determinação da eficiência de uma membrana. Dentre eles, Strathmann (2001) destaca a estabilidade térmica, química e mecânica bem como uma baixa tendência a incrustações, permitindo assim a manutenção de fluxos de filtração mais estáveis.

As membranas podem ser classificadas quanto a sua porosidade e morfologia. Barbosa (2009) classifica a membrana pela morfologia como homogêneas, compostas, simétricas e assimétricas, e quanto à porosidade como densas ou porosas sendo que tanto as membranas densas quanto as porosas podem ou não apresentar as mesmas características morfológicas ao longo de sua espessura.

Nos processos por membranas o fluxo afluente após passar pelas membranas é separado em duas linhas distintas: o filtrado, também chamado de permeado e a linha do concentrado, que contém os sólidos e partículas retidas pela membrana (VIDAL, 2006). A vazão de alimentação no processo de membranas é dividida em vazão de permeado, em que a concentração de partículas é baixa ou isenta, e vazão do concentrado que possui alta concentração de partículas, no qual o gradiente de pressão é utilizado como força motriz para a separação das partículas na superfície permeável da membrana filtrante (QUEIROZ, 2004).

Entre os cinco sistemas de membranas mais utilizados para o tratamento de águas podemos citar a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração, a osmose reversa e a eletrodialise (SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001).

A microfiltração é um processo de separação sólido-líquido em que se utiliza pressão como forma de forçar a passagem do efluente na membrana. Segundo Trevisoli (2010) a separação por microfiltração ocorre através de uma superfície porosa com poros que apresentam diâmetro médio variando entre 0,06 - 10 μm . Ainda segundo este autor, a natureza físico-química da membrana controla quais os componentes do efluente em tratamento serão filtrados e quais serão retidos.

A microfiltração é utilizada para remover partículas, bactérias e colóides a partir de fluxo de alimentação em sistemas de tratamento de água (WILBERT, 1993). Haneda (2006) coloca a microfiltração como um processo para separação de micropartículas, emulsões e bactérias. A Tabela 1 mostra claramente a relação entre tamanho de partículas e a capacidade de filtração das membranas.

A microfiltração pode ser operada de 2 formas, filtração tangencial ou modo convencional. O modo convencional é conhecido como filtração perpendicular ou segundo Alicieo et al., (2008) “dead-end” e/ou filtração estática. O autor ainda explica que na filtração convencional o efluente é pressionado contra a membrana, perpendicularmente à superfície da membrana, fazendo com que o material solúvel atravesse a estrutura porosa da membrana, produzindo o permeado, e as partículas e macromoléculas, por vez, ficam retidas na linha do concentrado.

Tabela 1: Espécies retidas nos processos de osmose reversa (OI), nanofiltração (NF), ultrafiltração (UF) e microfiltração (MF) (Adaptado: HANEDA, 2010).

Espécie	Massa molar (Da)	Tamanho (nm)	Processos Aplicáveis			
			OI	NF	UF	MF
Leveduras e fungos		$10^3 - 10^4$				X
Células bacterianas		$300 - 10^4$			X	X
Colóides		$100 - 10^3$			X	X
Vírus		30 – 300			X	X
Proteínas	$10^4 - 10^6$	2 – 10			X	
Polissacarídeos		2 - 10		X	X	
Enzimas	$10^5 - 10^6$	2 – 5		X	X	
Açúcares simples	200-500	0,8 – 1,0	X	X		
Íons orgânicos	100-500	0,4 – 0,8	X	X		
Íons inorgânicos	10-100	0,2 – 0,4	X			

Na filtração tangencial o efluente a ser tratado passa pela membrana com movimentos paralelos à sua superfície, separando concentrado do permeado, este último atravessa a membrana de forma transversal. Habert, Borges e Nóbrega (2006) ressaltam ainda que a filtração no modo tangencial pode ser chamada de

crossflow ou filtração dinâmica onde a solução escoar paralelamente à superfície da membrana e o permeado é deslocado transversalmente. A Figura 1 permite observar a diferenciação entre as duas formas de operação, dando assim um maior discernimento de filtração tangencial e filtração perpendicular.

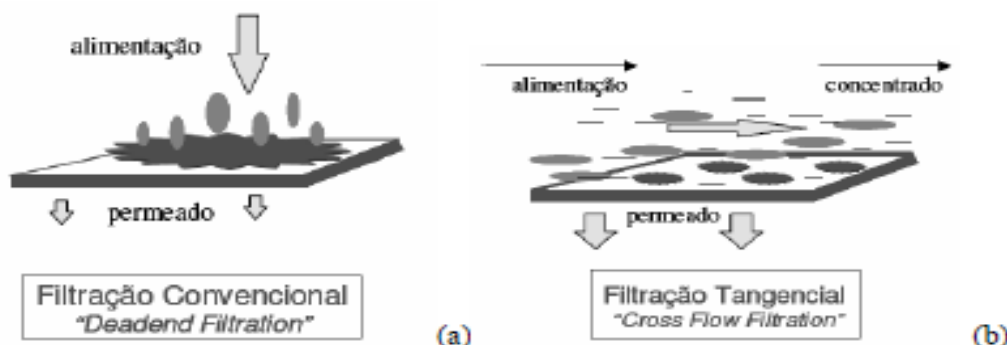


Figura 1 – Tipos de filtração usando membranas de microfiltração: filtração convencional “dead end” (a) e filtração tangencial “crossflow” (b). adaptado de: HARBERT, BORGES e NÓBREGA, 2006).

A filtração tangencial possui algumas vantagens em relação à filtração convencional, pois nesse modo de filtração tem-se a redução da deposição de partículas sobre a superfície da membrana devido às forças de cisalhamento geradas pela filtração tangencial, limitando assim o acúmulo das partículas retidas. Devido a tais características, o processo de filtração é mais estável, com uma perda de permeabilidade menos intensa (PILLAY & BUCKLEY, 1992).

Segundo Oliveira (2010) o tratamento de água para abastecimento feito no lago Decatur nos Estados Unidos com membranas de polisulfona de fibra oca resultou em turbidez abaixo de 0,1 uT. Na França, Cabassud et al (1991) utilizou um sistema piloto de ultrafiltração onde a água bruta teve grandes variações de turbidez, de 2 a 300 uT, e apesar destas oscilações o permeado sempre se manteve com turbidez inferior de 0,1 uT. Pode-se perceber por esses estudos que o tratamento de água por membranas é de grande eficiência na remoção de sólidos.

Algumas vantagens do processo de membranas é destacado por Oliveira (2010), como a facilidade pela automatização requerendo o mínimo de profissionais técnicos especializados para a operação, alta eficiência na remoção de microrganismos, requerendo baixa demanda de agentes desinfetantes e consequentemente reduzindo a formação de subprodutos da desinfecção, bem como custos com produtos químicos.

Após um determinado tempo de uso a membrana filtrante, tanto de fluxo tangencial quanto de fluxo frontal, deve ser lavada para retirar as partículas que se depositam na mesma, entopem os poros e diminuem o fluxo do permeado. A microfiltração convencional necessita de maiores números de lavagens devido ao maior entupimento que ocorre pelo fluxo perpendicular. Vidal (2009) aponta algumas técnicas para reduzir a deposição de partículas nas membranas como o uso de coagulantes, auxiliares de filtração e alguns abrasivos. Para evitar a colmatção da membrana é importante a realização de lavagens periódicas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o tratamento de água para abastecimento por membrana de microfiltração visando remoção de sólidos, turbidez e, sobretudo de microrganismos.

METODOLOGIA

As análises desse trabalho foram realizadas nas dependências do Laboratório de Saneamento Ambiental e Qualidade da Água da UNICENTRO localizado na cidade de Irati/PR, com a utilização de um sistema piloto de microfiltração (Figura 2) operado sob filtração tangencial. A água bruta para tratamento no módulo de microfiltração foi coletada junto a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Irati, Paraná, pertencente à Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) na entrada da ETA.



Figura 2 – Sistema piloto de microfiltração utilizado no trabalho.

A membrana utilizada no experimento é do tipo tubular, confeccionada em material cerâmico, apresentando tamanho de poro $0,2 \mu\text{m}$ e área filtrante de $0,00475 \text{ m}^2$. A membrana suporta temperaturas até 120°C .

O experimento foi realizado em temperatura média de 24°C e foi operado em pressão de 3,0 bar, com retrolavagem a cada 20 minutos por ar comprimido/permeado para minimizar o entupimento dos poros durante o processo.

A velocidade tangencial empregada foi de 0,4 m/s com vazão de alimentação de 2,7 L/mim. A pressão transmembrana (PTM) foi mantida constante e o fluxo variante com o tempo (decaindo).

No final do experimento procedeu-se a limpeza da membrana através da recirculação de solução alcalina (hidróxido de sódio a 0,5%) para recuperação da permeabilidade da membrana.

A água bruta foi coletada em dois dias, primeiramente coletou-se água bruta na ETA para sua caracterização no dia 13/09. A segunda coleta foi realizada no dia 14/10 para o emprego do tratamento no módulo de microfiltração.

A caracterização das amostras de água bruta e do permeado foram realizadas empregando-se os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, temperatura, turbidez, cor aparente e verdadeira, *Escherichia coli* e coliformes totais.

O desempenho da membrana foi avaliado com base no fluxo de permeado adotado e eficiência de remoção dos parâmetros supracitados. O período de operação total empregado para o ensaio de filtração foi de 390 minutos. Durante os primeiros 150 minutos foram coletadas amostras de permeado a cada 30 minutos, e após 270 minutos de operação o permeado foi coletado a cada 60 minutos. Os volumes de cada coleta eram preservados para posteriores análises dos parâmetros de qualidade mencionados (pH, alcalinidade, turbidez, cor) assim como para determinação do decaimento do fluxo de filtração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA E DO CONCENTRADO

A Tabela 2 apresenta os resultados para cada parâmetro avaliado referente às seis amostras de água coletadas no dia 13/09/2011 junto a ETA da SANEPAR.

Tabela 2- Caracterização da água bruta.

Amostra	Horário da coleta	pH	Turbidez (uT)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	Cor aparente (uH)	Cor verdadeira (uH)
1	13	6,01	35,7	5,7	272	69
2	14	6,11	36,4	6,3	271	76
3	15	6,39	35,8	6,6	271	67
4	16	6,25	35	6,3	284	98
5	17	6,26	37,9	6,9	300	116
6	18	6,48	34,4	6,6	253	69

Foi realizada a caracterização previa com o intuito de conhecer as características da água, verificando assim sua qualidade a fim de analisar o potencial da implantação da microfiltração. Pode-se observar que não há grande variação das características da água bruta ao decorrer do dia em que a água foi coletada.

O sistema de microfiltração foi utilizado como forma de substituição ao tratamento convencional da Estação de Tratamento de Água de Irati que emprega coagulação, floculação, decantação e filtração, podendo reduzir assim o custo com produtos químicos utilizados na coagulação e reduzir a formação de lodo.

RESULTADOS RELATIVOS AO ENSAIO DE MICROFILTRAÇÃO

Na tabela 3 observa-se a caracterização da água bruta, definida na tabela como tempo zero, que foi submetida ao ensaio de microfiltração na unidade piloto, assim como a caracterização do respectivo permeado gerado durante a filtração.

Os valores relativos aos parâmetros avaliados para a água bruta indicam que esta pode ser classificada como água doce classe 1, conforme os limites estipulados na Resolução CONAMA nº 357/2005. O concentrado era recirculado continuamente no sistema de microfiltração.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos de cada parâmetro avaliado ao longo do ensaio de filtração.

Tabela 3 – Características do permeado em função do tempo de filtração.

Tempo (min)	Fluxo (L.m ⁻² .h ⁻¹)	Temperatura (°C)	pH	Turbidez (NTU)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	Cor apar. (uH)	Cor verd. (uH)
0	-	17	6,64	33,5	5,4	266	85
30	429	20	7,80	5,77	9,3	54	17
60	370	23	7,71	3,55	9,9	49	9
90	332	24	7,68	1,89	8,7	35	7
120	278	25	7,58	1,88	11,1	35	5
150	223	26	7,85	2,28	8,1	39	7
270	221	27	7,91	1,28	7,2	30	24
330	189,4	28	7,94	1,05	7,8	39	35
390	187	29	7,38	1,24	7,8	49	36
Concentrado	-	-	7,57	35,4	6,0	367	170

Pode-se perceber uma tendência de decaimento nos valores do fluxo de permeado à medida que a operação vai ocorrendo. Tal comportamento era esperado, uma vez que durante a filtração tem-se início o processo de colmatação da membrana, seja por entupimento de poros ou pela formação de um biofilme em sua superfície, que se reflete no decaimento do fluxo de permeado ao longo da filtração (JUDD, 2006). A Figura 3 apresenta o decaimento do fluxo de permeado observado durante o ensaio de filtração.

Na filtração tangencial a camada de polarização aumenta rapidamente no início do processo se estabilizando ao longo do tempo, já o fluxo do permeado atua inversamente ao comportamento da camada de polarização,

diminuindo com o passar do tempo tendendo a obtenção de um valor constante (TREVISOLI, 2010). Haneda (2010) reporta que o fluxo de permeado pode permanecer constante com o tempo, mas com um valor menor do obtido com o solvente de forma pura nas mesmas condições de operação, pois o aumento das espécies retidas na superfície da membrana provoca uma resistência adicional à transferência de massa do solvente.

Os valores de pH (Tabela 3) estiveram estáveis durante a filtração, com pouca oscilação, se mantendo próximo a faixa neutra. A temperatura teve um aumento de 12°C, segundo Vidal (2006) tal fato é comum em sistemas de microfiltração tangencial sem trocador térmico devido à geração de calor gerada pelo atrito e trabalho de bombeamento. O aumento da temperatura foi controlado com resfriamento do efluente no sistema.

O comportamento da turbidez no permeado durante os 390 minutos de filtração é apresentado na Figura 4. A eficiência na remoção da turbidez aumentou com o decorrer do tempo de funcionamento do reator. Inicialmente a turbidez se encontrava em 5,77 uT e após 390 minutos de filtração a turbidez decaiu para 1,25 uT, o que resultou em uma melhoria na eficiência na remoção de turbidez de cerca de 78%. Isso ocorre devido ao fechamento parcial dos poros pelas partículas filtradas, acarretando na redução do tamanho dos poros, aumentando consequentemente a retenção de partículas menores presentes na água.

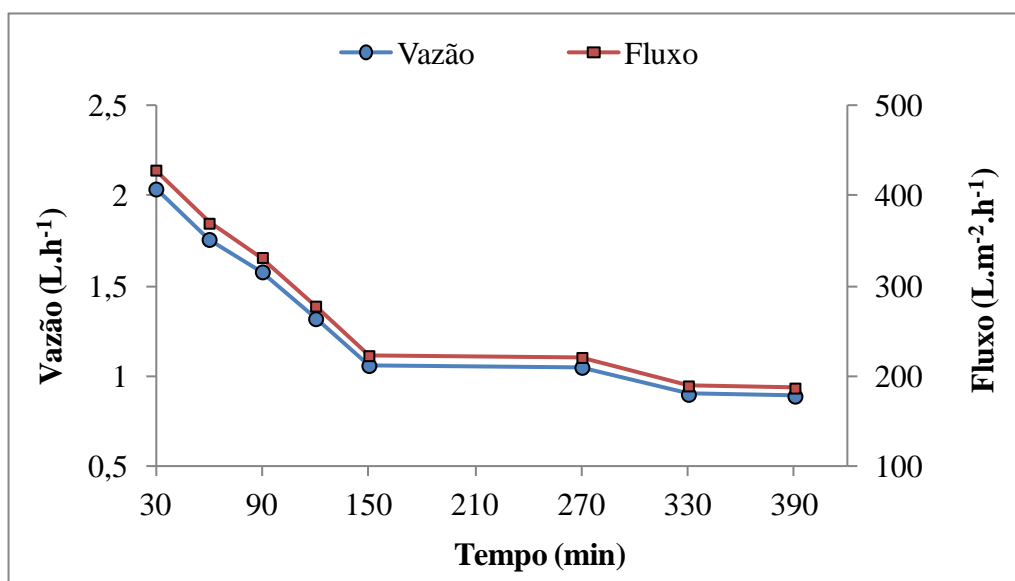


Tabela 2: Comportamento da vazão e do fluxo de permeado ao longo da filtração

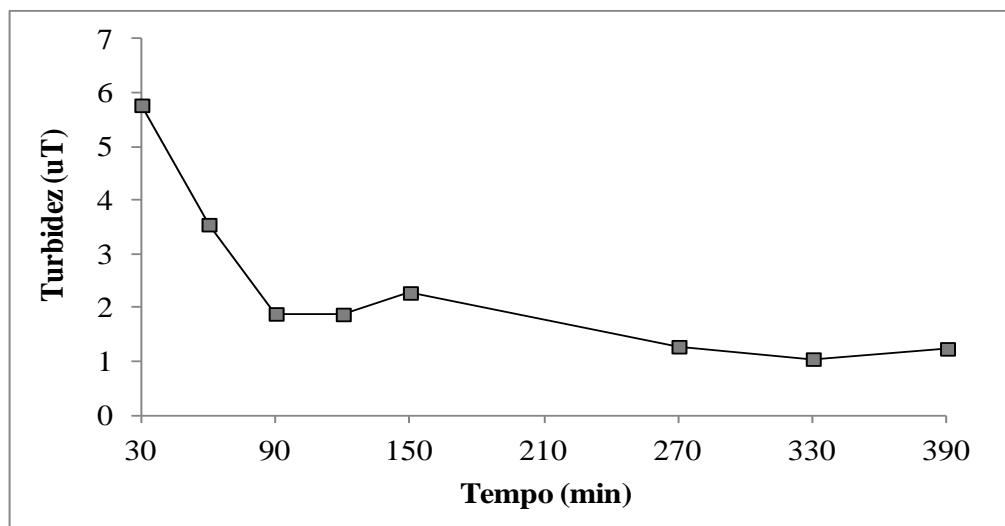


Tabela 3: Turbidez remanescente em relação ao tempo de operação filtração

Pela Tabela 3, percebe-se uma redução significativa na cor aparente e na cor verdadeira após o tratamento da água bruta por microfiltração, o processo de microfiltração proporcionou uma redução média de 93% da cor aparente e 80% da cor verdadeira. Após 120 minutos de operação, os valores da cor aparente e verdadeira passaram a aumentar gradativamente, conforme se pode acompanhar pela Figura 2. Esse fenômeno pode ter ocorrido devido à membrana, após algum tempo de funcionamento, permitir a passagem de partículas responsáveis pela coloração da água.

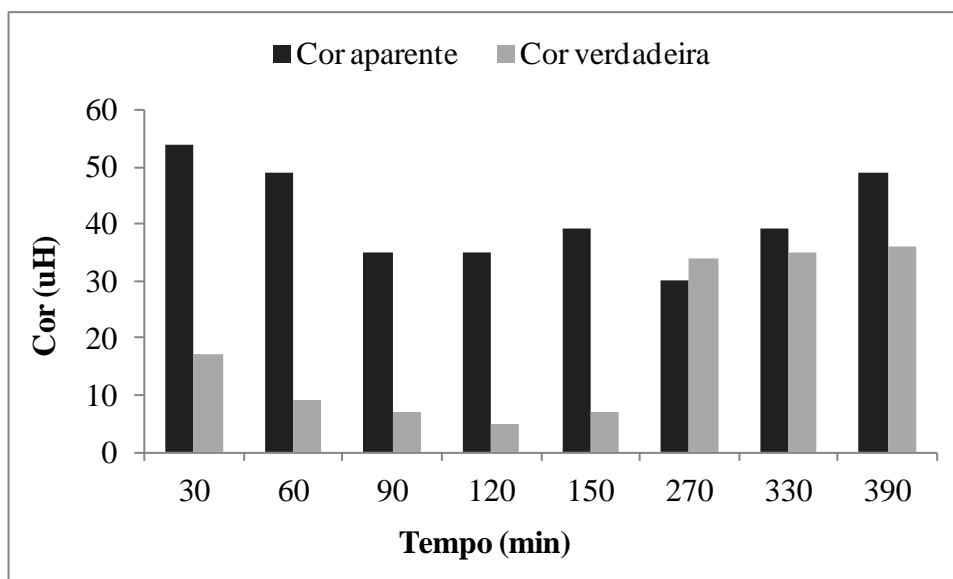


Tabela 4: Remoção de cor aparente e cor verdadeira ao decorrer do tempo.

A membrana possui maior eficiência na remoção de cor aparente e turbidez em relação à cor verdadeira, pois as primeiras são constituídas principalmente por partículas, já a cor verdadeira é constituída principalmente por substâncias dissolvidas e partículas coloidais.

Segundo os padrões de potabilidade da Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde a água de abastecimento deve possuir turbidez máxima de 5,0 UT e cor aparente de 15 uH. Para os padrões de turbidez o permeado poderia ser encaminhado para a etapa obrigatória de desinfecção e então ser utilizada no abastecimento público, porém os padrões de cor aparente estão acima do valor máximo permitido pela norma. Com isso se percebe a necessidade da implantação de mais uma etapa no tratamento para a remoção da cor do efluente.

Para se obter uma melhor remoção na cor aparente bem como a remoção de cor verdadeira métodos como a aplicação de carvão ativado após o tratamento por microfiltração pode ter grande eficiência na remoção da cor. Tangerino (2007) utilizando tratamento com carvão ativado granular (CAG), em taxas de aplicação de taxas 12 e 24 m³/m²/dia de água, obteve remoção de 50% e 70% de cor aparente, respectivamente, e acima de 90% da cor verdadeira para ambas as taxas de aplicação. O trabalho citado mostra a eficiência da utilização de CAG para remoção de cor após sistemas de filtração.

Após 390 minutos foi coletada amostra para verificar se havia presença de microrganismos no permeado. A Tabela 4 apresenta os valores encontrados de *Escherichia Coli* em amostras de 100 ml relativas à água bruta e ao permeado.

Tabela 4 – Valores de *Escherichia Coli* e Coliformes totais na água bruta e no permeado (amostragem de 100ml)

Ponto de coleta	<i>Escherichia Coli</i> (UFC/100ml)	Coliformes totais (UFC/100ml)
Água Bruta	3 x 10 ²	5 x 10 ³
Permeado	<1	<1

A aplicação da microfiltração no tratamento de água mostrou-se eficiente na remoção de Coliformes totais e *E. Coli*, tendo uma remoção de 99,99% dos organismos patogênicos. Observa-se assim o cumprimento da Portaria 518, capítulo IV, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde em que deve ser indetectável CT e *E. Coli* em amostras de 100 ml em água de abastecimento, estando assim de acordo com os padrões de água para consumo humano.

Mesmo com a eficiente remoção de patógenos há a necessidade de cloração para fornecimento de cloro residual, que garantirá a desinfecção dessa água até o consumidor. Com esses resultados positivos na remoção de organismos patogênicos a demanda de agentes desinfetantes é reduzida significativamente, podendo reduzir os custos com a desinfecção e a quantia de subprodutos gerados pela mesma.

CONCLUSÃO

A utilização da microfiltração se mostrou vantajosa no tratamento de água para consumo em termos de remoção de turbidez, organismos indicadores de organismos patogênicos, cor aparente e cor verdadeira. No entanto há a necessidade de um processo de tratamento conjunto para uma melhor eficiência da remoção de cor devido à rejeição do consumidor da água produzida com cor aparente. Estudos complementares deverão ser realizados para se determinar qual o melhor procedimento na utilização como tratamento complementar na remoção da cor.

Com a implantação da microfiltração em substituição ao tratamento convencional da Estação de Tratamento de Água a área utilizada para o tratamento de água será reduzida, bem como menor produção de lodo .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALICIEO, T.V.R.; MENDES, E.S.; PEREIRA, N.C.; BARROS, S.T.D.; INNOCENTI, T.D.; ALVES, J.A.; Análises do uso da membrana cerâmica de 0,2µm na clarificação de cerveja. *Acta Sci. Technology*, Maringá, v.30, n.2, p. 181-186, 2008.
2. ANADÃO, P.; RABELLO, P. P.; VALENZUELA-DIAZ, F. R.; WIEBECK, H.; HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. K. Síntese e caracterização de membranas de microfiltração para aplicações em sistemas de tratamento de águas de abastecimento e efluentes industriais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL. 2006. Puntadel Este: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS, 2006.
3. BARBOSA, I.L.; Avaliação de processos de separação por membranas para geração de águas de reuso em um centro comercial. 2009. 124p. Dissertação (Mestrado Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.
4. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. 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. *Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2004.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Dispõe sobre os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial (da) República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 2004.
6. CABASSUD, C.; ANSELME, C.; BERSILLON, J.L.; APTEL, P. Ultrafiltration as a Nonpolluting Alternative to Traditional Clarification in Water Treatment. *Filtration & Separation*, p. 194-198, Mai/Jun 1991.
7. HABERT, A. C.; BORGES, C.P.; NÓBREGA, R. Processos de separação com membranas. Rio de Janeiro: E-papers, 2006. 180 p.
8. HANEDA, R. N. Investigação do desempenho de diferentes estruturas microporosas tubulares na retenção de bactérias e suspensão por microfiltração tangencial. 2006. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.
9. HANEDA, R. N. Estudo do desempenho do processo de microfiltração tangencial com membranas cerâmicas aplicado à retenção de bactérias e redução de sólidos suspensos de uma bebida à base de Açai. 2010. 174 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.
10. JUDD, S. *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. 1º ed – Elsevier Ltd, Oxford, UK, 2006.

11. OLIVEIRA, T. F. Tratamento de água para abastecimento público por sistema de separação por membrana de ultrafiltração: Estudo de caso na ETA Alto da Boa Vista (São Paulo, SP). 2010. 95 f. Dissertação (Mestre em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010
12. PELEGRIN, D. C. Microfiltração tangencial de efluente sanitário após tratamento biológico. 2004. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.
13. PILLAY, V.L.; BUCKLEY, C.A. Cake formation in cross-flow microfiltration systems. *Journal of Water Science and Technology*, v.25, n.10, p.149-162, 1992.
14. QUEIROZ, V. M. S. Estudo experimental do escoamento e da concentração de mistura no processo de filtração tangencial de suspensões macromoleculares. 2004. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.
15. SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reuso. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
16. STRATHMANN, A. Membrane separation processes: Current relevance and future opportunities, *AIChE Journal*, v.47, n.5, p.1077-1087, mai. 2001.
17. TANGERINO, E.P.; MATSUMOTO, T.; ESPÍNDOLA, J.R.A.; TAKEUTI, M.R.S. Remoção de cor em colunas de carvão ativado granular como polimento de efluente de instalação FIME, em função da taxa de aplicação. *AIDIS*, México, v. 1, n° 3, 2007.
18. TREVISOLI, A. M. S. Estudo experimental da microfiltração tangencial com membrana cerâmica aplicada na clarificação da vinhaça. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
19. VIDAL, C.M.S. Avaliação da microfiltração tangencial como alternativa de tratamento avançado de efluente gerado em sistema de tratamento de esgoto sanitário constituído de reator UASB (upflow anaerobic sludge blanket) seguido de tanque de aeração. 2006. 193 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Hidráulica e Saneamento) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
20. VIDAL, C.M.S.; CAMPOS, J.R. Coagulação associada à microfiltração para o tratamento avançado de esgoto sanitário. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, v.5, n.1, p.101-114, 2009.
21. WILBERT, M.C. et al. The desalting and water treatment manual: A guide to membranes for municipal water treatment. Denver: U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation, 1993. 160p.