



I-217 – AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE MEMBRANA DE ULTRAFILTRAÇÃO PARA O TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL

José Carlos Mierzwa⁽¹⁾

Professor da Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

Luciana Rodrigues Valadares Veras

Pós-doutora pela Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, professora da Fundação Armando Álvares Penteado - FAAP.

Maurício Costa Cabral da Silva

Mestrando no programa de Pós-graduação da Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP.

Karine Raquel Landenberger

Bolsista de Iniciação Científica do Programa PIBIC e aluna de graduação do curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da USP.

Endereço⁽¹⁾: Av. Prof. Almeida Prado, 83 – Travessa nº 02 – Butantã, CEP 05508-900 - São Paulo, SP – Brasil. e-mail: mierzwa@usp.br

RESUMO

Nas últimas décadas pode-se constatar um aumento da poluição dos recursos hídricos, principalmente devido ao crescimento populacional nos centros urbanos e desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais. BRAGA et al. (2002) observam que os parâmetros que definem a qualidade da água, assim como seus valores limite devem ser mantidos sob constante revisão, em função dos avanços na detecção de novos elementos tóxicos que, freqüentemente, são lançados no meio ambiente.

Atualmente, o tratamento de água para abastecimento público mais utilizado é o sistema convencional, abrangendo fases de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Entretanto, este tratamento já não se mostra eficiente frente ao grande potencial de poluição dos mananciais. Muitos estudos e pesquisas têm sido desenvolvidos para buscar alternativas eficazes para o tratamento da água de abastecimento. A tecnologia de ultrafiltração tem recebido notável atenção por sua eficiência e pela possibilidade de num futuro próximo competir economicamente com processos clássicos. Com este intuito, uma unidade piloto foi montada junto à Estação de Tratamento de Água na Guarapiranga e sua eficiência foi analisada através de parâmetros como turbidez, cor, COT e absorvância de radiação ultravioleta (254 nm), entre outros. O sistema de ultrafiltração apresentou bom desempenho para a remoção dos contaminantes analisados, com reduções de 94 % para turbidez e cor, 56 % para substâncias que absorvem radiação UV-254 nm e 44% para COT, com remoções de 100% para coliformes totais e *Escherichia Coli*.

PALAVRAS-CHAVE: membranas de ultrafiltração, membranas, tratamento de água, PROSAB.

INTRODUÇÃO

A insegurança proporcionada pelo sistema poluidor moderno gera a necessidade de revisão dos sistemas convencionais de tratamento de água, uma vez que eles não seriam capazes de garantir a remoção de certos organismos ou micropoluentes de origem industrial encontrados em nossos mananciais (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001). Diante desse cenário, torna-se clara a necessidade de tecnologias eficazes que ofereçam níveis de segurança apropriados aos sistemas públicos de abastecimento de água.

O processo de separação por membranas vem se mostrando uma tecnologia capaz de fornecer água potável de alta qualidade aos usuários dos recursos hídricos. Dentre as principais vantagens desse processo, segundo XIA et al. (2005), estão a invariável qualidade da água produzida, livre da utilização de produtos químicos, a facilidade de automação e a necessidade de espaço reduzido. SCHNEIDER; TSUTIYA (2001) destacam ainda a enorme redução do custo de construção e operação, tornando a tecnologia de membranas competitiva em relação aos sistemas convencionais de tratamento da água.

Muitas pesquisas estão sendo conduzidas no mundo a fim de possibilitar o maior conhecimento da tecnologia de membranas e dos fatores que influenciam seu desempenho. No Brasil, poucos estudos foram relatados até o



momento sobre a aplicação dessa tecnologia para água de abastecimento. Em resposta a essa demanda, o presente trabalho é uma contribuição significativa para o aperfeiçoamento dessa tecnologia no abastecimento público, pois trata da investigação do desempenho de um sistema de membrana, aplicado no tratamento de água para abastecimento na Região Metropolitana de São Paulo - Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do edital nº 05 do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), com aporte de recursos da Financiadora de Estudos e Projetos. Após a montagem da unidade piloto na Universidade de São Paulo, a mesma foi transportada e instalada junto às dependências da SABESP, na represa Guarapiranga, em São Paulo - SP.

Os ensaios foram iniciados em agosto de 2007, utilizando-se esta unidade piloto composta por filtro de areia, seguido de filtro tela e membrana de ultrafiltração.

O monitoramento do sistema foi realizado através da capacidade de produção do sistema, das taxas de produção de água, da frequência e eficiência das operações de limpeza química e sanitização e ainda da eficiência de remoção de contaminantes da água.

As limpezas químicas foram realizadas sempre que o fluxo apresentava-se reduzido. O procedimento envolveu as seguintes etapas:

- enxágue do sistema com água limpa, reservada no tanque de limpeza (50 litros)
- realização de recirculação por aproximadamente 5 minutos e descarte da água recirculada (dependendo da situação, esse processo foi feito mais de uma vez)
- adição de 250ml de detergente e 1,0 litro de solução de NaOH (1 mol/ L NaOH) e realização da recirculação por 20 minutos
- parada do sistema por no mínimo 1 hora, a fim de obter maior eficiência na limpeza devido ao contato com o detergente e solução de NaOH
- recirculação por aproximadamente 5 minutos e em seguida realização de enxagues
- adição da solução de NaOH (1 mol/ L NaOH) , recirculação por 5 minutos, parada do sistema por 30 minutos e enxague
- realização da retrolavagem do filtro de areia e lavagem do filtro tela
- adição de cloro (2mg/L) ao tanque de limpeza (dependendo da fase do ensaio) e recirculação por 5 minutos
- enxágue de todo do sistema

As figuras 1 e 2 mostram fotos da unidade piloto e a figura 3 o diagrama esquemático do sistema.



Figura 1 – Vista geral da unidade piloto



Figura 2 – Vista da lateral direita da unidade piloto

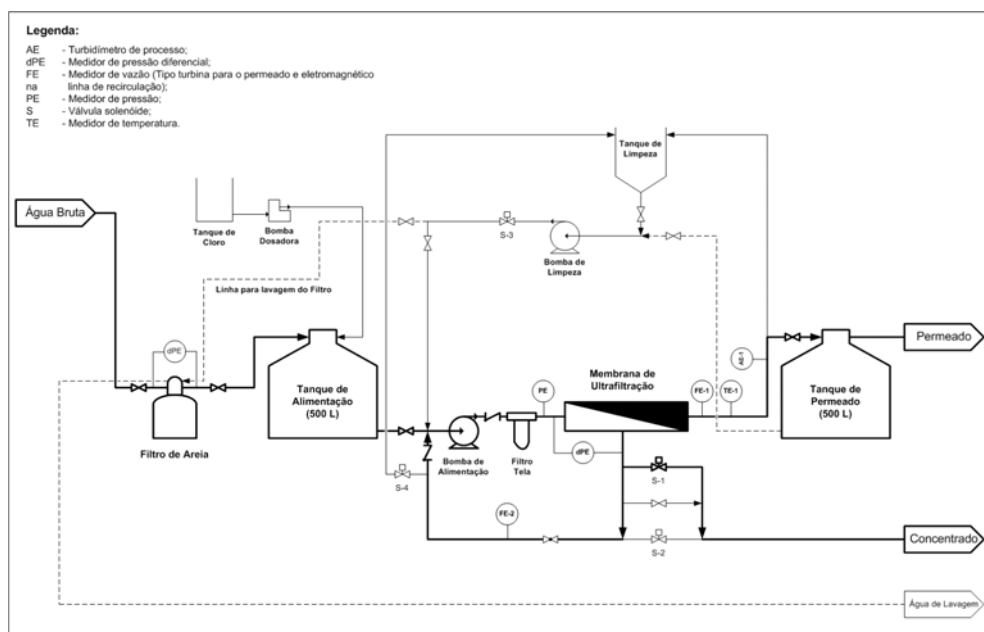


Figura 3 – Diagrama esquemático da unidade piloto

Na figura 3, as linhas grossas indicam o fluxo principal de água durante a operação normal do sistema.

O acompanhamento da eficiência da remoção de contaminantes foi realizado mediante análises de amostras semanais da água bruta, da água que passava pelos filtros e alimentava a membrana (filtrado), da água produzida (permeado) e do concentrado.

Foram monitorados parâmetros tradicionalmente utilizados no controle da qualidade de água para abastecimento público, como turbidez, cor, pH, absorção de radiação ultravioleta (254 nm), coliformes totais, *Escherichia Coli*; carbono orgânico total, condutividade elétrica, dureza e alcalinidade. As análises da água



foram realizadas de acordo com as metodologias descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

Em relação aos contaminantes orgânicos presentes em microquantidades foram realizadas análises para verificar a presença de microcistinas, etinilestradiol, estrogênio e nonilfenol. O método de análise utilizado foi o de enzima conjugada e imunosorbente (ELISA).

Todos os parâmetros foram analisados no Laboratório do CIRRA – Centro Internacional de Referência em Reúso de Água - Universidade de São Paulo e no laboratório de Saneamento da Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos a partir da caracterização de amostras de água coletadas na unidade piloto. Como pode ser observado, a turbidez do permeado esteve sempre dentro dos padrões estabelecidos pela norma brasileira (<1 UNT). A remoção de turbidez na membrana permaneceu entre 82,6% e 98,6% durante o período analisado (figura 4). Com relação à cor, alguns valores estiveram acima do limite para água potável, mas este fato pode estar relacionado a problemas detectados durante a calibração no aparelho. Os percentuais de remoção para essa variável ficaram entre 80,3% e 98,3% (figura 5).



Tabela 1 – Resultados da caracterização da água na unidade piloto

Parâmetro		Nº de Amostras	Valores			Desvio Padrão
			Média	Mínimo	Máximo	
Turbidez (UNT)	permeado	15	0,24	0,06	0,78	0,230
	bruta	15	4,26	1,10	11,23	3,270
	concentrado	15	15,38	2,57	45,80	14,610
Cor (uC)	permeado	12	4,57	2,00	7,67	1,940
	bruta	12	73,19	25,33	190,00	45,710
	concentrado	12	164,05	103,30	251,40	46,280
Absorbância de radiação UV (cm^{-1})	permeado	16	0,049	0,020	0,066	0,013
	bruta	16	0,112	0,063	0,307	0,073
	concentrado	16	0,204	0,085	0,325	0,077
COT (mg/L)	permeado	15	3,27	1,90	4,53	0,693
	bruta	15	5,87	3,48	14,63	3,333
	concentrado	15	12,38	4,10	24,60	5,067
pH	permeado	16	7,481	7,026	8,019	0,254
	bruta	16	8,000	7,390	11,490	1,014
	concentrado	16	7,516	7,387	7,867	0,134
Coliformes Totais (NMP/100ml)	permeado	8	0,375	0,000	2,000	0,744
	bruta	8	931,025	63,000	2419,60	1067,949
	concentrado	8	269,900	14,10	906,000	316,609
E. Coli (NMP/100ml)	permeado	9	0,00	0,00	0,00	0,00
	bruta	9	46,28	7,40	155,30	53,73
	concentrado	9	8,89	0,00	19,90	7,88
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	permeado	15	171,61	139,57	200,00	17,589
	bruta	15	262,08	136,07	687,00	281,782
	concentrado	15	196,77	103,30	229,33	30,796
Dureza (mg CaCO_3/L)	permeado	10	46,89	42,40	54,87	3,633
	bruta	10	47,01	38,66	52,37	3,902
	concentrado	10	58,86	56,12	63,60	2,868
Alcalinidade (mg CaCO_3/L)	permeado	10	39,58	33,66	45,90	4,131
	bruta	10	40,80	37,74	48,96	3,630
	concentrado	10	48,25	42,84	56,10	3,469

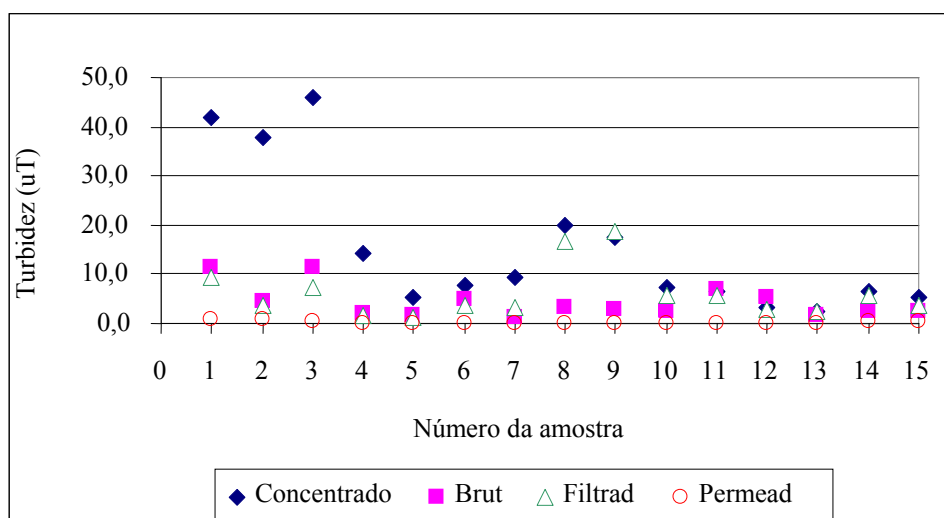


Figura 4 – Resultados das análises de turbidez

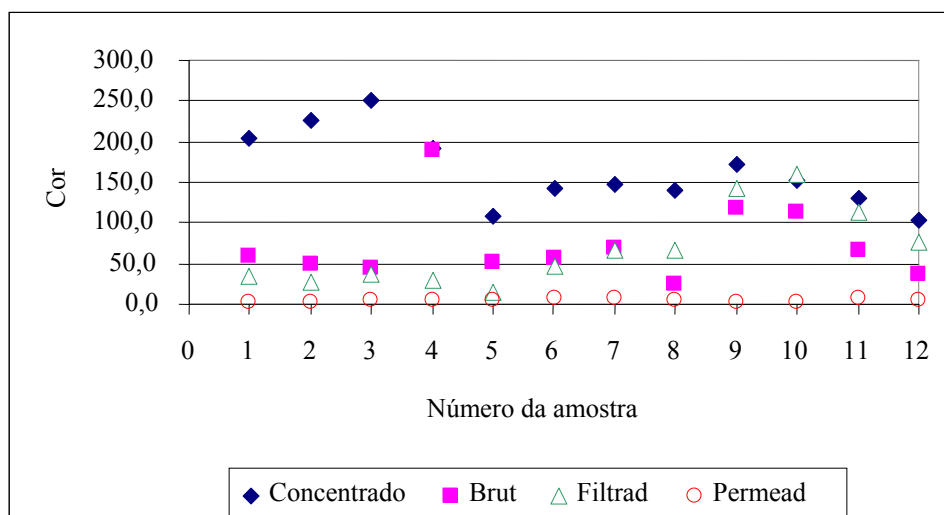


Figura 5 – Resultados das análises de cor

A presença de matéria orgânica na água foi medida através de parâmetros indiretos como o COT e absorvância da radiação ultravioleta (UV), no comprimento de onda de 254 nm (figura 6). Os percentuais de remoção de matéria orgânica obtidos pela análise de absorvância de radiação UV ficaram entre 23,2% a 80,7% e pela análise de COT, entre 8,6% e 79,1%. A figura 7 apresenta os resultados das análises de COT durante os ensaios realizados.

Os valores máximo e mínimo de coliformes totais na água bruta foram de 2420 e 63 NMP/100 mL (tabela 1) e as remoções atingiram 100% em praticamente todas as análises realizadas. Os resultados de *Escherichia Coli* estiveram entre 155 e 7 NMP/100 mL na água bruta, com 100% de remoção em todos os casos. As figuras 8 e 9 mostram os resultados dessas duas variáveis.

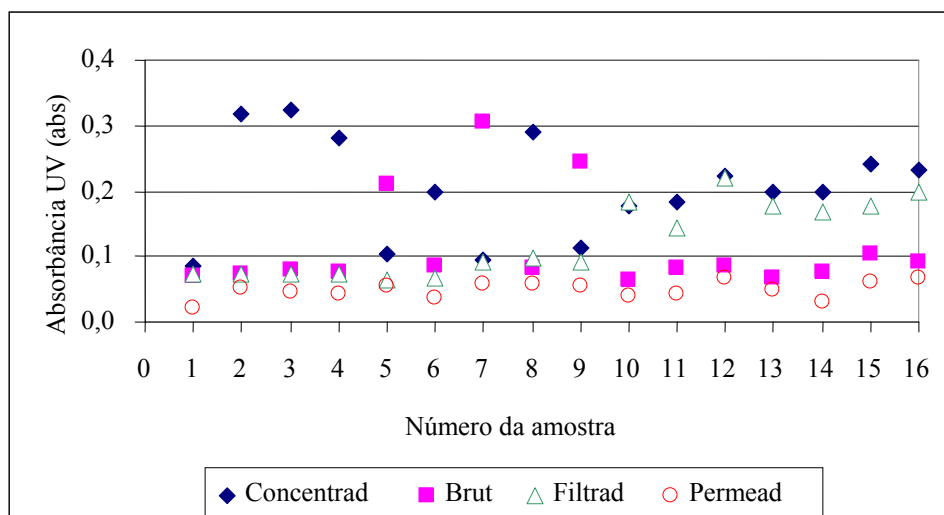


Figura 6 – Resultados das análises de absorbância de radiação UV (254 nm)

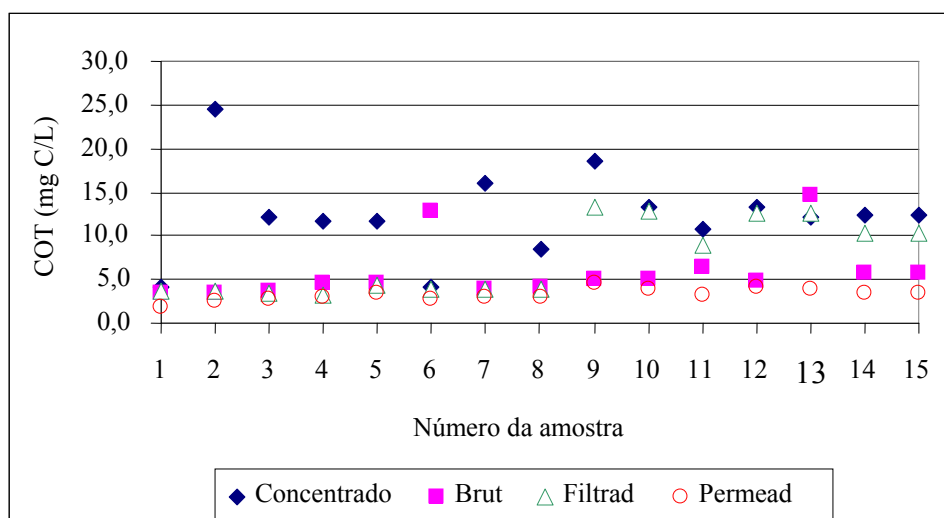


Figura 7 – Resultados das análises de COT

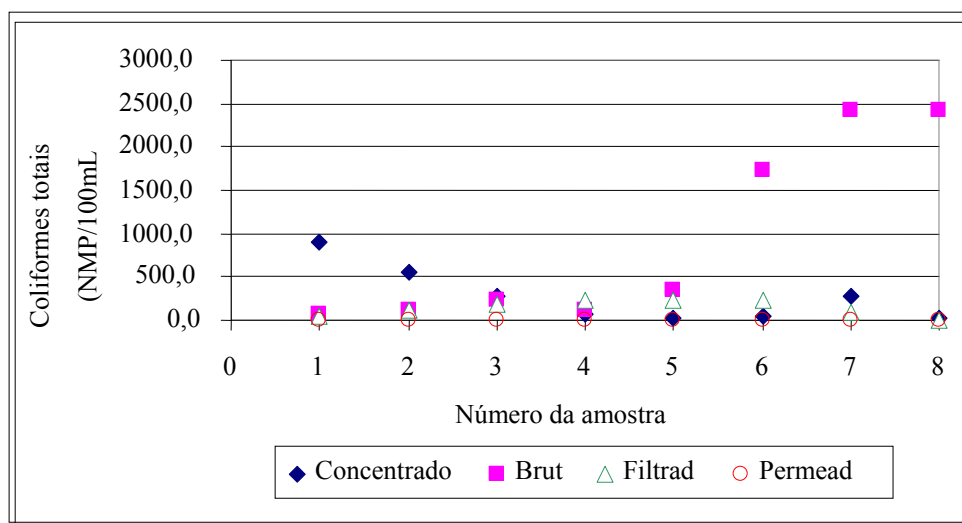


Figura 8 – Resultados das análises de Coliformes totais

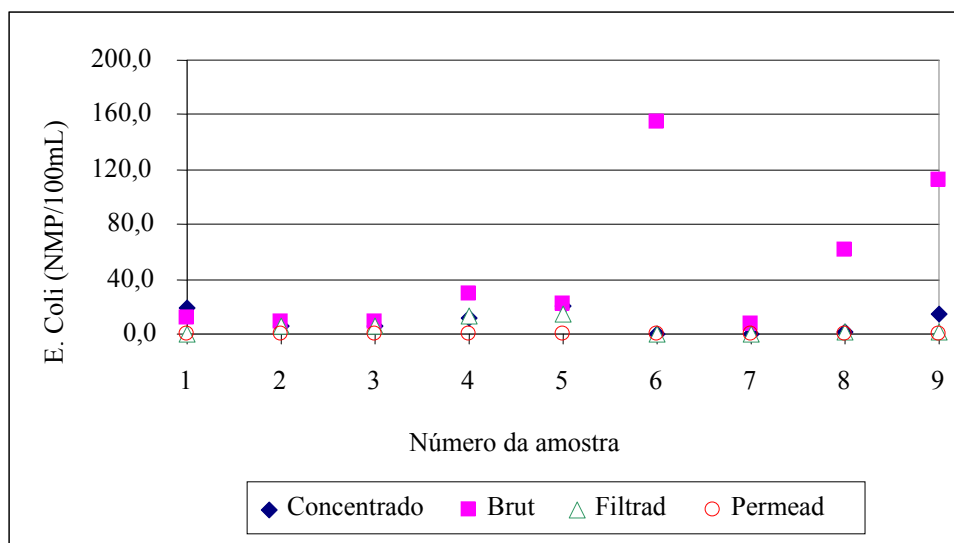


Figura 9 – Resultados das análises de E. Coli

Observando-se os dados da tabela 1 e figura 10, verifica-se que o valor máximo de condutividade da água bruta foi bastante elevado (687 $\mu\text{S}/\text{cm}$), considerando-se que as demais medidas variaram entre 136 e 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e que as médias determinadas em anos anteriores não ultrapassaram 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CETESB, 2004). Este fato pode estar associado à variação no pH em decorrência de problemas de proliferação de algas, já que no mesmo dia em que ocorreu o pico de condutividade, o pH registrado foi de 11,5 (figura 11). O aumento da condutividade elétrica ao longo dos anos indica um acréscimo da carga de contaminantes inorgânicos no reservatório. De acordo com a CETESB (2002), em geral, valores maiores do que 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ representam ambientes impactados.

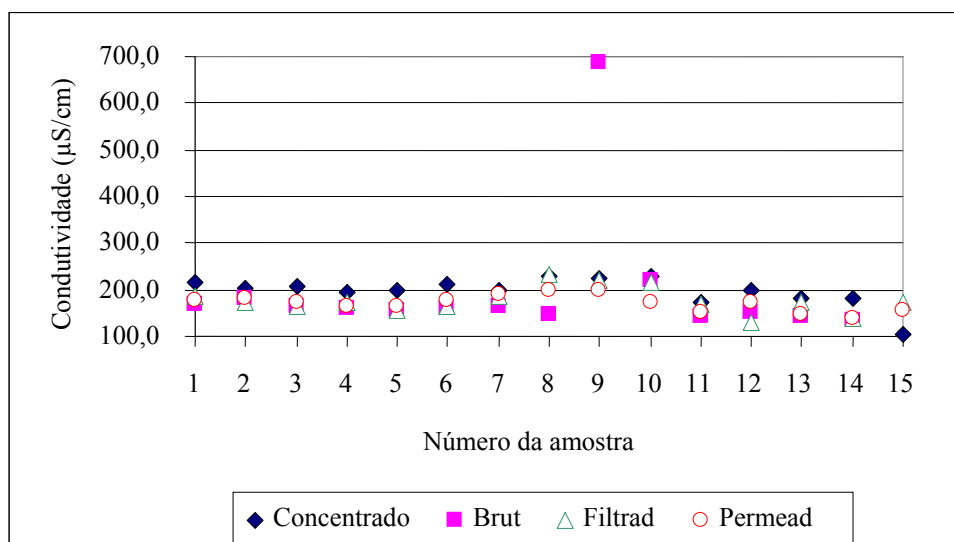


Figura 10 – Resultados das análises de condutividade elétrica

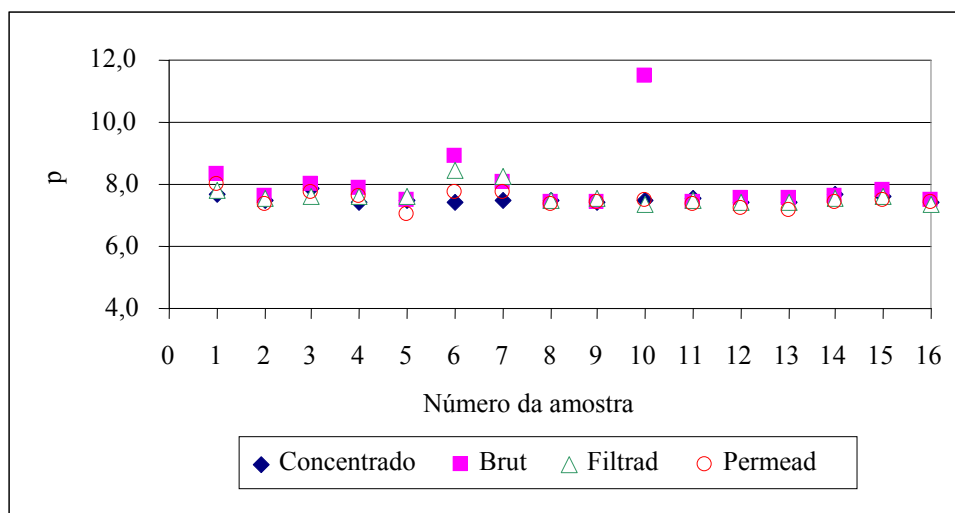


Figura 11 – Resultados das análises de pH

As concentrações de dureza na água bruta (figura 12) estiveram abaixo do nível mínimo estabelecido por norma (250mg/L CaCO_3). Os valores de dureza e alcalinidade encontrados no permeado foram, em algumas situações, ligeiramente superiores aos valores registrados na água bruta. Este fato ocorreu devido à recirculação de parte do concentrado que possui teores mais elevados dessas variáveis. A figura 13 mostra os resultados para as análises de alcalinidade..

Embora a redução de dureza e alcalinidade não seja o objetivo do tratamento com membranas de ultrafiltração, os percentuais de remoção encontrados atingiram, respectivamente, 27,0 e 28,6%.

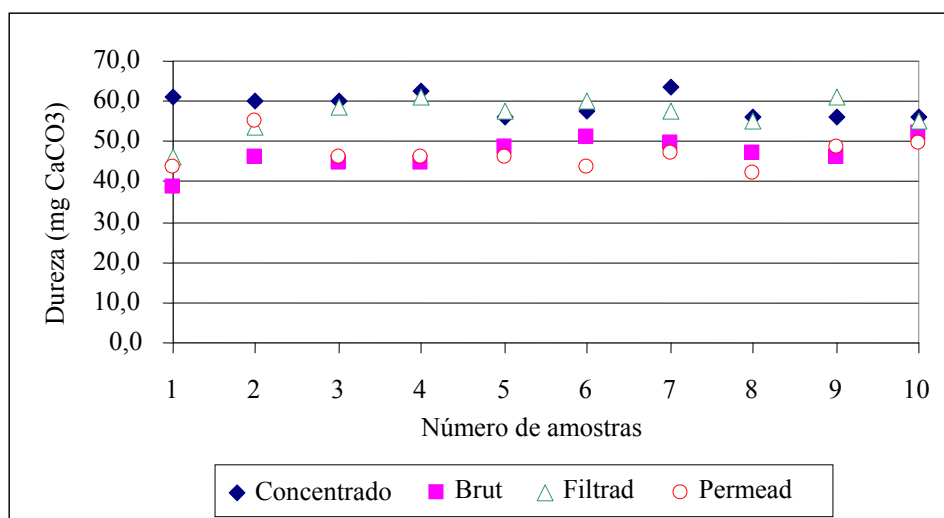


Figura 12 – Resultados das análises de dureza

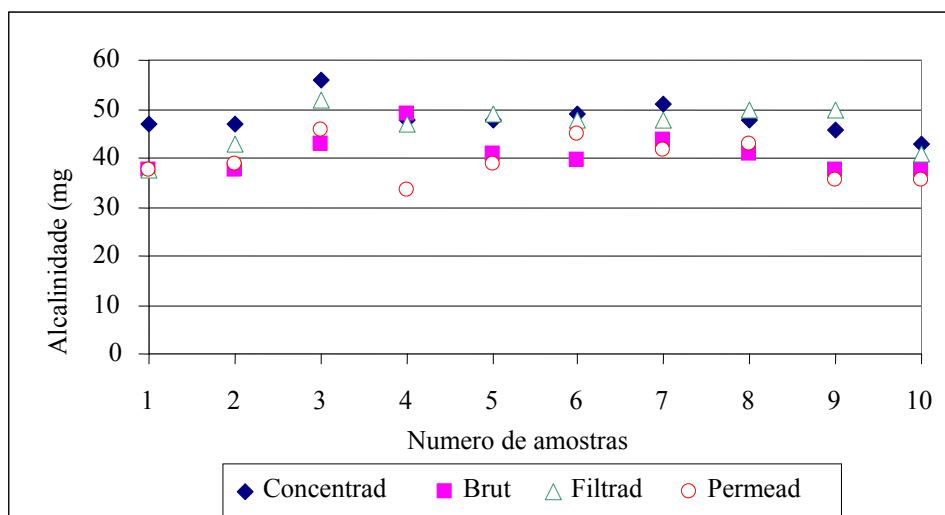


Figura 13 – Resultados das análises de alcalinidade

Com relação às análises de micropoluentes, pode-se observar nas tabelas 2, 3, 4 e 5, que as concentrações obtidas foram baixas. Entretanto, deve-se ressaltar que as amostras, quinzenais, foram coletadas durante um período relativamente curto - entre dezembro de 2007 e fevereiro de 2008. Por esta razão, seria necessário que outras análises fossem realizadas em diferentes épocas do ano para a verificação da presença desses micropoluentes. Também deve ser ressaltado que neste período a intensidade de chuvas foi maior, promovendo a diluição dos contaminantes.

Tabela 2 - Resultados das análises de nonilfenol

Unidade	Água Bruta	Permeado	Concentrado	Observação
µg/L	< 5,0	< 5,0	< 5,0	Sem extração
µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Com extração
µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Com extração
µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Com extração
µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Com extração

Tabela 3 - Resultados das análises de etinilestradiol

Unidade	Água Bruta	Permeado	Concentrado	Observação
µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Com extração
ng/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Com extração
ng/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Com extração
ng/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Com extração

Tabela 4 - Resultados das análises de estrogênio

Unidade	Água Bruta	Permeado	Concentrado	Observação
µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Sem extração
ng/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Com extração
ng/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Com extração
ng/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Com extração



Tabela 5 - Resultados das análises de microcistinas

Unidade	Água Bruta	Permeado	Concentrado
µg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10
µg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10
µg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10
µg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10
µg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10

CONCLUSÕES

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos processos de separação por membranas tem grande importância para a avaliação do potencial desta tecnologia no tratamento de água de mananciais com qualidade comprometida, como no caso da Região Metropolitana de São Paulo.

Nesta pesquisa, algumas conclusões foram obtidas com relação à eficiência de remoção de contaminantes, como apresentado a seguir:

- o sistema de ultrafiltração apresentou bom desempenho para a remoção de contaminantes como turbidez, cor, coliformes totais, *Escherichia Coli* e matéria orgânica;
- o monitoramento dos micropoluentes não possibilitou a obtenção de um panorama sobre a sua relevância na água do manancial estudado. Seria necessário um estudo mais detalhado, durante as várias estações do ano, para a obtenção de dados mais conclusivos sobre o assunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAGA, B. et al. (2002) “*Introdução à Engenharia Ambiental.*” São Paulo. Pratices Hall. 318p.
2. CETESB, São Paulo, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2004 / CETESB. São Paulo, CETESB, 2004.
3. CETESB, São Paulo, Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2002 / CETESB. São Paulo, CETESB, 2002.
4. SCHNEIDER, René Peter; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. *Membranas Filtrantes para o Tratamento de Água, Esgoto e Água de Reuso.* 1ª ed. São Paulo: ABES, 2001. 234p.
5. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, 20th Edition, Washington D.C, 1998.
6. XIA, Shengji et al. Pilot study of drinking water production with ultrafiltration of water from the Songhuajiang River (China). ELSEVIER, Beijing, p.369-374, 2005.