

# REDUÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA SUORTE ATRAVÉS DA SUBSTITUIÇÃO POR MANTAS NÃO-TECIDAS NA FILTRAÇÃO LENTA DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO.

CLÁUDIA FENGA FERRAZ

Química, Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil – UNICAMP.

JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

Engenheiro Civil, Professor Associado da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Professor Colaborador - Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP.

## RESUMO

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de investigar a influência da substituição do pedregulho da camada suporte por mantas sintéticas não tecidas na eficiência da filtração lenta, em areia, para tratamento de águas de abastecimento. A investigação experimental foi realizada em instalação piloto constituída de uma unidade de pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente e três unidades de filtração lenta, as quais diferiam entre si pela espessura e composição da camada suporte. As taxas de filtração utilizadas foram de  $3\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ ,  $6\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$  e  $9\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ . A eficiência das unidades de filtração foi avaliada através da análise das concentrações de cor aparente, turbidez, densidades de coliformes totais e de coliformes fecais, de amostras retiradas do afluente e efluentes das unidades de filtração lenta. Os resultados obtidos mostraram que não houve diferença significativa entre os três filtros lentos quanto à eficiência de remoção de impurezas, indicando a viabilidade da substituição do pedregulho por manta sintética não tecida na camada suporte de unidades de filtração lenta. A substituição possibilitará assim, o prolongamento da duração da carreira de filtração e também a redução dos custos de implantação dessa tecnologia de tratamento de águas, tornando-a mais acessível a regiões menos desenvolvidas.

**PALAVRAS CHAVE:** filtração lenta, mantas sintéticas não tecidas, redução da camada suporte, águas de abastecimento.

## ABSTRACT

*The purpose of this study was to investigate the influence of the replacement gravel supporter bed for nonwoven synthetic fabrics in slow sand filtration for treating water supplies. The experimental investigation was carried out in a pilot plant built with an upflow roughing filter unit and three slow sand filtration units, which had different thickness and composition of the layer has supported. The filtration rates used in the experiment were  $3\text{m}^3/\text{m}^2\text{day}$ ,  $6\text{m}^3/\text{m}^2\text{day}$  e  $9\text{m}^3/\text{m}^2\text{day}$ . The efficiency of the slow sand filtration units was evaluated by analysis of turbidity, apparent color, density of total coliforms and fecal coliforms of the samples of the influent and effluent of the filters. The results showed that the removal efficiency of impurities didn't have significant difference between the three slow sand filters, indicating the viability of the substitution of the gravel for nonwoven synthetic fabric in the layer has supported of units of slow sand filtration. It makes possible to extend the filtration run duration and also to reduce the technology implantation costs, making it accessible to developing countries.*

**KEYWORDS:** Slow Sand Filtration, non woven synthetic fabrics, water treatment

## INTRODUÇÃO

No Brasil, as águas utilizadas pela população pertencente às comunidades rurais, na quase totalidade dos casos, não sofrem nenhum tipo de tratamento. Viabilizar um sistema que proporcione o tratamento da água para consumo humano em propriedades agrícolas implicará diretamente na melhoria da qualidade de vida da população. O tratamento de águas de abastecimento em zonas rurais contribuirá ainda para uma diminuição de várias doenças de veiculação hídrica, assim como de possíveis epidemias.

Em 1976, o *International Water and Sanitation Center*, juntamente com a

UNICEF e a OMS realizaram um projeto envolvendo instituições da Colômbia, Índia, Jamaica, Kenya, Sudão e Tailândia, que consistia na busca de tecnologias de tratamento de águas apropriadas para países em desenvolvimento. Esse programa demonstrou que a Filtração Lenta era o método mais viável técnica e economicamente para ser empregado em regiões em desenvolvimento. (VISSCHER et al., 1992). Mais tarde o CINARA (Centro Interregional de Abastecimento e Remoção de água) na Colômbia, confirmou, através de investigações experimentais que a Filtração em Múltiplas Etapas - FiME, que consiste na filtração lenta precedida de pré-tratamentos, é a melhor solução

para tratamento de águas para países em desenvolvimento. (GALVIS et al., 1997).

A filtração lenta é um processo de tratamento que, através da passagem da água por um meio granular, geralmente areia, possibilita a melhoria de suas características químicas, físicas e bacteriológicas, a ponto de torná-la adequada para consumo humano, após desinfecção final. Esse processo de tratamento de águas apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias: não necessita da utilização de produtos químicos, não exige equipamentos sofisticados, nem operadores altamente qualificados, além de ser de simples construção (DI BERNARDO, 1999).

Essas vantagens, aliadas ao uso de materiais e de mão de obra locais, reduzem os custos iniciais de implantação, operação e manutenção desse sistema e possibilitam a pequenas comunidades e a países que não podem ter acesso às técnicas mais avançadas, um processo de tratamento de água bastante eficiente.

As duas principais limitações para o uso da filtração lenta, têm sido apontadas por DI BERNARDO, (1990a, 1990b, 199) 1 e MBWETTE & GRAHAM, (1987, 1988) como sendo a qualidade da água bruta, que não deve ter cor e turbidez elevadas, e as operações de limpeza do meio filtrante, através da remoção e lavagem de alguns centímetros da camada superior da areia onde se desenvolve a "Schmutzdecke", que pode representar 70% do custo de uma instalação (PATERNIANI, 1991). Estes problemas foram recentemente resolvidos através da adoção de sistemas de pré-filtração em pedregulho antecedendo a filtração lenta e com o emprego de mantas sintéticas não tecidas instaladas no topo da camada de areia dos filtros lentos (DI BERNARDO, 1993).

Há, no entanto, uma terceira barreira de caráter econômico que, em se tratando de comunidades de baixa renda e pouco desenvolvidas, pode inviabilizar completamente a instalação de um sistema de filtração lenta para tratamento de água. Trata-se do meio filtrante granular, tanto areia quanto o pedregulho da camada suporte, que possuem alto custo quando precisam ser preparados para atender uma distribuição granulométrica específica.

O presente trabalho foi realizado com a finalidade de investigar a influência da substituição do pedregulho da camada suporte por mantas sintéticas não tecidas na eficiência da filtração lenta, em areia, para tratamento de águas de abastecimento, como também investigar experimentalmente a eficiência de um sistema de filtração lenta constituído de inovações tecnológicas que constituem no uso de materiais de fácil obtenção no mercado e de baixo custo, a fim de propor um sistema de filtração lenta mais acessível técnica e economicamente às comunidades menos favorecidas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho experimental foi executado durante o período de Fevereiro a Novembro de 2000, tendo sido realizados, no total, 9 ensaios.

Utilizou-se uma instalação piloto de filtração lenta instalada nas dependências do reservatório de água da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, onde foi captada a água.

A instalação piloto de filtração, cujo esquema é apresentado na Figura 1, foi composta de três unidades de filtração lenta e uma unidade de pré-filtração em pedregulho de fluxo ascendente, constituídas de plástico PEMD rotomoldadas, apresentando as seguintes dimensões: altura útil 1200mm e diâmetro igual a 600mm. O sistema de drenagem dos filtros e também do pré-filtro foi constituído por uma grade metálica instalada no fundo cônico das unidades.

Cada filtro era constituído por 30 cm de espessura de camada de areia grossa de construção civil passada pela peneira de 1mm pois, assim, a areia apresentou características mais próxima às recomendadas para uso na filtração lenta: tamanho efetivo 0,25mm, coeficiente de desuniformidade igual a 2,4 e tamanho dos grãos entre 0,053 a 0,85mm.

Os filtros diferenciavam-se entre si pela espessura da camada suporte e pela presença ou não de manta não tecida nesta camada. A Tabela 1 apresenta as características da camada suporte para os três filtros. Já as propriedades e composição das mantas não tecidas utilizadas na pesquisa podem ser vistas na Tabela 2.

As mantas não tecidas empregadas no topo da camada de areia foram a M2 e M3, pois quando combinadas suas características mais marcantes, M2 alta

acúmulo de impurezas, sugerindo uma considerável eficiência de filtração.

O pré-filtro foi constituído de três camadas de pedregulho e manta sintética não tecida instalada no topo da última camada. As características do meio granular do pré-filtro são apresentadas na Tabela 3.

O sistema de filtração foi operado com taxas de filtração de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, 6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, 9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia e foram realizados três ensaios (carreiras de filtração) para garantir maior confiabilidade aos resultados. Ao término de cada ensaio, considerado o período de tempo compreendido entre o início da operação e o momento em que os filtros atingiam a perda de carga final, limitada em 600mm para o filtro lento 1 (FL1) e para o filtro lento 2 (FL2) e 680mm para o filtro lento 3 (FL3), era realizada a operação de limpeza dos filtros. Essa operação consistia na remoção das mantas instaladas no topo do leito filtrante das unidades e lavagem das mesmas com jato d'água sob alta pressão. Depois de secas, as mantas eram recolocadas nos respectivos filtros.

A eficiência dos filtros lentos foi avaliada através da análise diária dos parâmetros turbidez, cor aparente, sólidos suspensos totais, coliformes totais e fecais, oxigênio dissolvido, temperatura, concentração de ferro total e concentração de manganês em amostras de água coletadas do afluente e efluente dos filtros. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da

Tabela 1 - Características da camada suporte das unidades de filtração.

Filtro	Pedregulho		Manta
	Granulometria	Espessura	
1	2,00mm a 6,25 mm	10 cm	Sem manta
2	6,25mm a 21,0mm	10 cm	M1
3	-	-	M1

porosidade (97,70%) e M3 alto valor de superfície específica (26,936 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>), formam um conjunto mais adequado para utilização na filtração lenta segundo PATERNIANI, 1991.

A manta M1 foi selecionada para compor a camada suporte por também apresentar alta porosidade (93,81%), indicando seu elevado potencial para

UNICAMP seguindo rigorosamente os métodos e técnicas especificados pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA; AWWA e WPCF, 1995). A evolução da perda de carga devida à retenção de impurezas pelo meio filtrante também foi monitorada diariamente, através da altura do nível d'água no interior dos filtros.

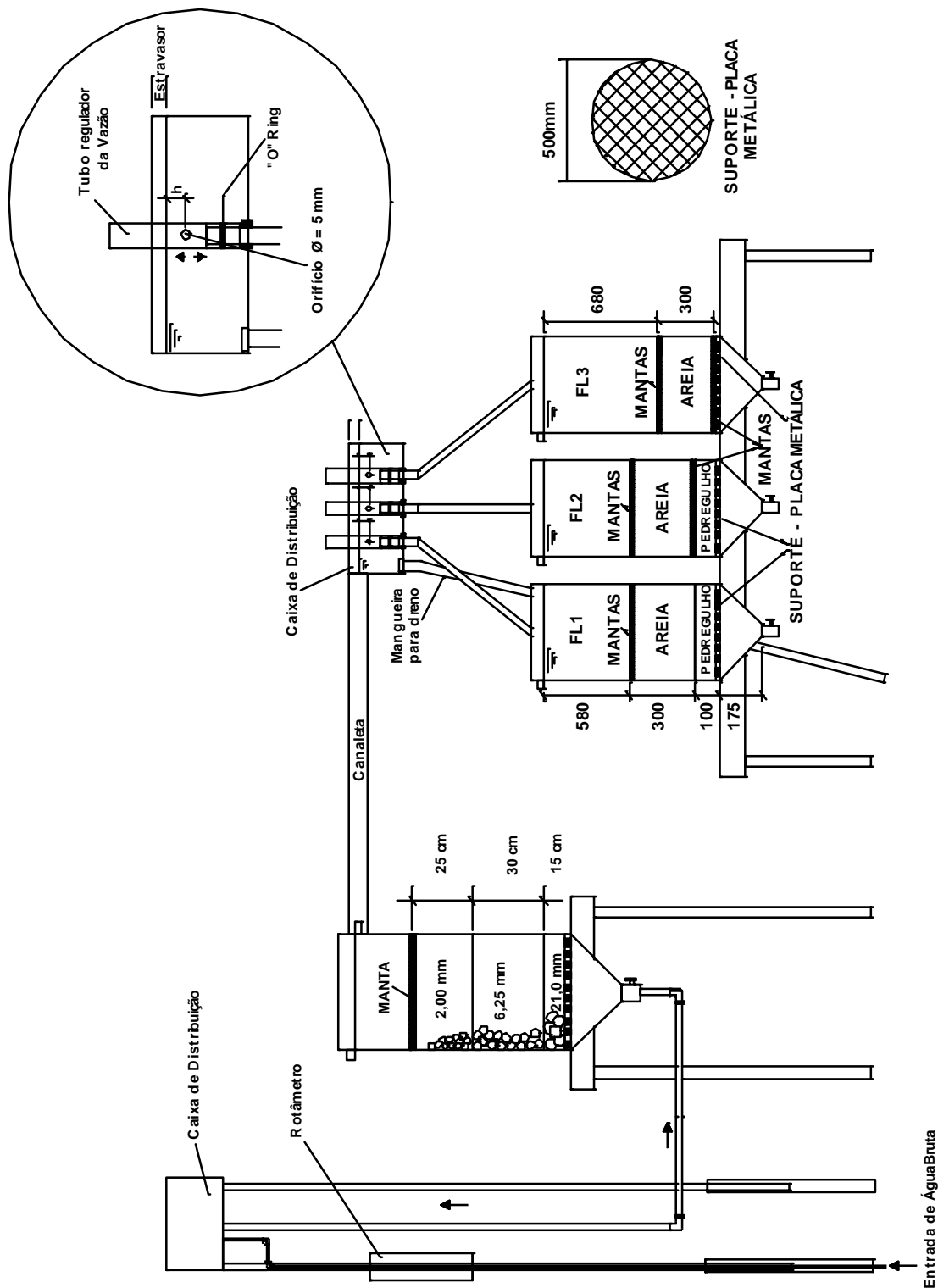


Figura 1: Esquema geral da instalação piloto.

**Tabela 2 - Propriedades e composição das mantas sintéticas não tecidas utilizadas na pesquisa.**

Propriedades	Mantas		
	M1	M2	M3
Porosidade (%)	93.81	95.70	62.84
Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	0.1464	0.1291	0.1328
Superfície Específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	3.645	2.530	26.936
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	300	400	450
Espessura (mm)	2	3	5
Diâmetro médio das Fibras (mm)	67,950	67,950	55,179
Composição	100% Polipropileno	100% Polipropileno	100% Poliéster

**Tabela 3 - Características do meio granular da unidade de pré-filtração.**

Camadas	Granulometria do pedregulho (mm)	Espessura da Camada (cm)	Manta
1	2,00	25	M1
2	6,25	30	-
3	21,0	15	-

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados são referentes aos parâmetros de qualidade de água mais importantes analisados (turbidez, cor aparente, coliformes totais, coliformes fecais) e são apresentados em termos da média obtida para cada parâmetro em cada bloco de ensaios.

A qualidade da água bruta (afluente ao pré-filtro) foi analisada apenas com relação aos parâmetros turbidez e cor aparente, uma vez que os mesmos apresentam valores limitantes para o bom desempenho dessa tecnologia de tratamento de águas.

A Tabela 4 mostra a duração das carreiras de filtração nos três filtros em função da taxa de filtração utilizada.

A análise da Tabela 4 mostra que os filtros operaram por mais tempo, cerca de 15 dias, quando submetidos à taxa de filtração mais baixa, 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia. Conforme aumentou-se a taxa de filtração para 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia e, posteriormente, para 9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia, a duração das carreiras de filtração nas unidades de filtração lenta diminuiu, ficando em torno de 10 dias para taxa de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia e 6 dias para a taxa de filtração de 9<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia.

Percebe-se, porém, que a unidade de filtração lenta 3 (FL3), em grande parte dos ensaios, apresentou carreiras de filtração mais longas que a unidade 1 (FL1) e, maiores ou iguais a unidade 2 (FL2). Este fato já era esperado, uma vez que o FL3 apresenta uma maior carga hidráulica disponível para filtração (80mm a mais que os FL1 e FL2) devido a redução da espessura da camada suporte nesta unidade.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam a remoção da turbidez obtida pelos filtros lentos com as diferentes taxas de filtração estudadas.

Nota-se que a turbidez média registrada na água bruta para os três ensaios

**Tabela 4 - Duração das carreiras de filtração nas unidades de filtração lenta.**

Filtros	Taxa de Filtração: 3m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia			Taxa de Filtração: 6m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia			Taxa de Filtração: 9m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> dia		
	Duração da Carreira de Filtração (d)			Duração da Carreira de Filtração (d)			Duração da Carreira de Filtração (d)		
	1o Ensaio	2o Ensaio	3o Ensaio	1o Ensaio	2o Ensaio	3o Ensaio	1o Ensaio	2o Ensaio	3o Ensaio
FL1	13	14	13	11	9	10	6	6	7
FL2	13	14	15	12	10	10	6	6	8
FL3	14	15	15	13	10	10	6	6	8

realizados com as taxas de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  foi muito semelhante, 10,6 UNT e 11,0 UNT, respectivamente. A pré-filtração da água bruta possibilitou reduções de 28,3% e 35,4% da turbidez permitindo que os filtros lentos recebessem um afluente com turbidez média de 7,6 UNT nos ensaios sob taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e, 7,1 UNT nos ensaios sob taxa de filtração de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ . Nota-se também que a pré-filtração foi menos efetiva nos ensaios com taxa de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , onde a água bruta apresentou um valor médio de turbidez um pouco mais elevado, próximo de 13,0 UNT, sendo que, com a pré-filtração esse valor foi reduzido em 19,38%, possibilitando assim, turbidez média afluente aos filtros lentos de 10,4 UNT.

Com relação aos efluentes, nos ensaios com taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , observou-se qualidade muito semelhante, em torno de 4,0 UNT. Já com taxa de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , a turbidez média dos efluentes ficou em torno de 6,8 UNT.

Esses resultados permitem concluir que o aumento da taxa de filtração provocou pouca alteração na qualidade dos efluentes, e que estas foram consequência da qualidade apresentada pela água bruta. Porém, vale ressaltar que os ensaios sob taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  foram realizados em meses onde a temperatura se encontra mais elevada, proporcionando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento dos microrganismos que formam a "Schmutzdecke" (camada biológica desenvolvida no topo do leito filtrante) a qual é a grande responsável pela crescente melhoria da qualidade da água conforme se processa a filtração. Já os ensaios sob a taxa de filtração de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  foram realizados em meses mais frios.

Com relação à cor aparente, cujos resultados são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, a água bruta apresentou pouca variação ao longo dos ensaios realizados, registrando-se médias de 133,3 uC, 127,0 uC e 132,0 uC, respectivamente para as taxas de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ,  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ . Novamente, o afluente aos filtros lentos apresentou-se bem semelhante nos ensaios com taxas de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , 99,0 uC e 97,0 uC, respectivamente. Porém, para este parâmetro, os efluentes apresentaram qualidade semelhante nos ensaios com taxas de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , ficando em torno de 68,0 uC e 60,0 uC, respectivamente. Os ensaios realizados com

a menor taxa de filtração ( $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ) foram os que apresentaram efluentes com melhor qualidade, registrando-se médias de cor de 49,3 uC, 46,3 uC e 49,3 uC, respectivamente, nos filtros lentos 1, 2 e 3. Portanto, pode-se concluir que para o parâmetro cor aparente o aumento da taxa de filtração provocou alterações na qualidade do efluente filtrado, porém essas ocorreram de forma mais sutil na mudança da taxa de filtração de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  para  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ .

A grande variação registrada na água bruta foi com relação à densidade de coliformes totais e fecais. Esses resultados estão apresentados nas Figuras 8 a 13. A maior densidade média de coliformes totais registrada no afluente aos filtros lentos foi obtida nos ensaios com taxa de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , 1904,5 NMP/100mL. Nos ensaios onde os filtros operaram sob as taxas de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , a densidade média registrada para o afluente foi um pouco menor, 1182,7 NMP/100mL e 1072,9 NMP/100mL, respectivamente. Observa-se na Figura 8 (taxa de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ ) que os FL1 e FL3 foram mais efetivos na remoção de coliformes fecais, apresentando efluentes com densidades médias de 90,5NMP/100mL e 125,2NMP/100mL, respectivamente. Já o FL2 apresentou efluente com a maior densidade de coliformes totais, média de 231,8NMP/100mL. Porém, apesar do afluente ter apresentado certa variação na densidade de coliformes totais, os efluentes apresentaram melhor qualidade nos ensaios com taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ . Já nos ensaios com as taxas de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  e  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  a qualidade dos efluentes foi bem semelhante, de acordo com as Figuras 9 e 10, indicando que para a remoção bacteriológica o aumento da taxa de filtração influi, significativamente, na eficiência de remoção dos filtros lentos. Nota-se também que a temperatura teve influência na qualidade apresentada pelos efluentes nos ensaios com taxas de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  (realizados em meses mais quentes), pois a densidade de coliformes totais no afluente durante esse ensaio foi maior e, mesmo assim o desempenho dos filtros lentos foi bem semelhante ao registrado nos ensaios sob taxa de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , onde o afluente apresentou concentração menor desses microrganismos.

As menores densidades de coliformes fecais foram registradas quando os filtros operaram sob taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ , média de 6,5NMP/100mL no afluente e 1,6NMP/100mL, 1,9NMP/

100mL e 2,4NMP/100mL nos efluentes de FL1, FL2 e FL3, respectivamente. Esses resultados podem ser visualizados na figura 11. Observa-se na figura 12 que o desempenho dos filtros lentos na remoção de coliformes fecais foi baixo, pois apesar do afluente ter registrado densidades pequenas desse parâmetro, média de 4,2NMP/100mL, os filtros lentos apresentaram efluentes com densidades médias de 2,7 NMP/100mL, 3,6 NMP/100mL e 3,0NMP/100mL. Esses baixo desempenho de remoção pode ter sido decorrente das temperaturas mais baixas registradas durante esses ensaios, as quais não proporcionam condições ideais para o total desenvolvimento da "Schmutzdecke". O melhor desempenho dos filtros lentos na remoção de coliformes fecais foi registrado nos ensaios com taxa de filtração de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$ . Para uma densidade média de 4,2NMP/100mL registrada na água bruta, os filtros lentos apresentaram efluentes com densidades médias de 4,2NMP/100mL, 2,9NMP/100mL e 3,6NMP/100mL.

De maneira geral, pode-se dizer que a eficiência de remoção desses microrganismos aumentou com o tempo de funcionamento dos filtros. A remoção de coliformes totais nos dois primeiros dias de operação dos filtros, em todos os ensaios, foi baixa, aumentando conforme o andamento das carreiras de filtração. Isso pode ser explicado pelo amadurecimento do meio filtrante (desenvolvimento da "Schmutzdecke"), que aconteceu apesar da curta duração das carreiras de filtração, fato este que proporciona um ambiente favorável à proliferação de organismos que atuam na melhoria da qualidade da água. Embora as durações das carreiras de filtração tenham sido relativamente curtas durante todos os ensaios, fato que se desconhece sua razão, a porcentagem média da remoção de coliformes totais obtida independentemente da taxa de filtração foi da ordem de 89%, valor muito próximo àqueles encontrados na literatura. Certamente essa porcentagem aumentaria se as durações das carreiras de filtração fossem mais longas. Mesmo que as densidades de coliformes fecais observadas tanto no afluente quanto nos efluentes dos filtros lentos estudados tenham sido relativamente baixas não devem ser descartadas operações de desinfecção caso a água filtrada venha a ser destinada para consumo humano.

Contudo, os resultados obtidos e submetidos a análise estatística, indicam que não houve diferença significativa

entre os três filtros quanto à eficiência de remoção de impurezas, comprovando que a redução da espessura da camada suporte e sua substituição por manta sintética não tecida, além de ser viável, possibilita empregar unidades de filtração de menor altura ou o prolongamento da duração da carreira de filtração.

Considerando também a viabilidade do uso de areia comum de construção civil (areia grossa passada pela peneira de 1 mm), pode-se obter uma significativa redução dos custos de implantação de um sistema de filtração lenta, uma vez que a areia comum de construção custa cerca de US\$10,00/m<sup>3</sup> (preço obtido em lojas de materiais de construção) a areia preparada de acordo com recomendações da literatura (Di Bernardo, 1993) chega a custar US\$124,00/m<sup>3</sup> (PETRANOVA – <http://petranova.com.br>). Uma simulação simples de custo, considerando apenas o custo do material filtrante e camada

suporte, para duas instalações de filtração lenta, uma com um filtro lento convencional de acordo com recomendações da literatura e outro considerando todas as inovações tecnológica obtidas no presente trabalho, para atender uma comunidade de 500 habitantes (100.000 L/dia) é apresentada na tabela 5. Nota-se que é possível obter uma economia de cerca de 85% no custo final da instalação de filtração lenta uma vez que o custo de outros materiais e acessórios seriam iguais para ambas as condições.

Características do projeto:

- Vazão: 100 m<sup>3</sup>/dia
- Taxa de filtração: 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia
- Área do filtro: 33 m<sup>2</sup>
- Altura da camada de areia: 30 cm
- Altura da camada suporte de pedregulho (filtro convencional): 30 cm

Custos unitário de materiais filtrantes:

Areia preparada : US\$124,00/m<sup>3</sup>  
 Areia grossa de construção: US\$10,00/m<sup>3</sup>

Manta não tecida: US\$2,00/m<sup>2</sup>  
 ( AMOCO – [www.com.br](http://www.com.br))

## CONCLUSÕES

- a) a eficiência de remoção de impurezas não foi influenciada pela substituição do pedregulho da camada suporte pela manta sintética não tecida M1;
- b) a taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia proporcionou maior eficiência de remoção de impurezas pelos filtros do que a taxa de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e de 9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;
- c) a taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia proporcionou maior duração da carreira de

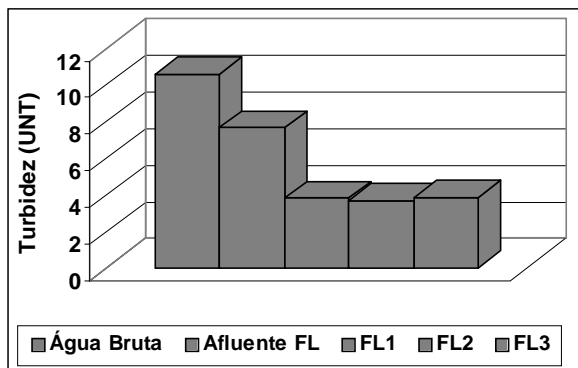


Figura 2 - Turbidez média obtida nos ensaios com taxa de filtração de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia.

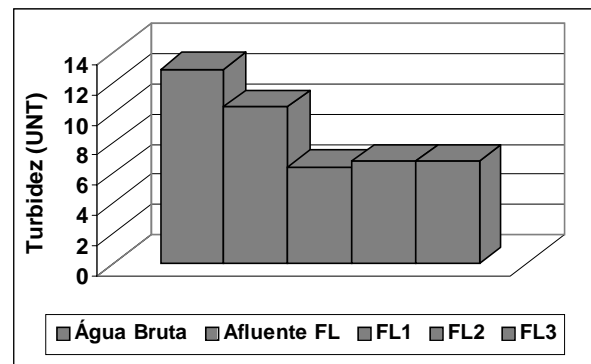


Figura 3 - Turbidez média obtida nos ensaios com taxa de filtração de 6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia.

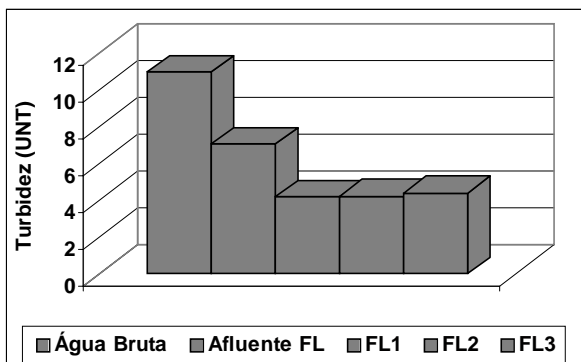


Figura 4 - Turbidez média obtida nos ensaios com taxa de filtração de 9m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia.

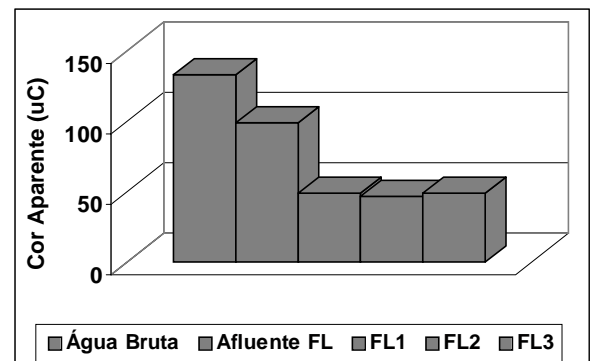


Figura 5 - Cor Aparente média obtida nos ensaios com taxa de filtração de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> dia.

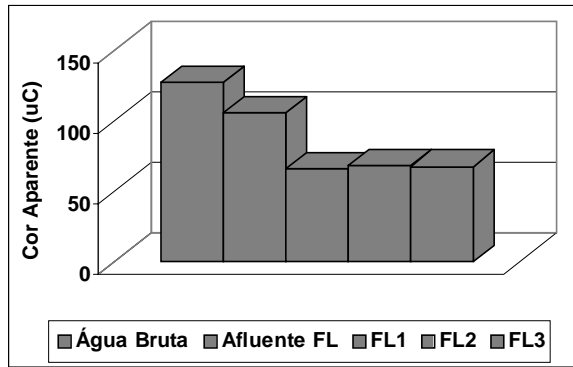


Figura 6 - Cor Aparente média obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

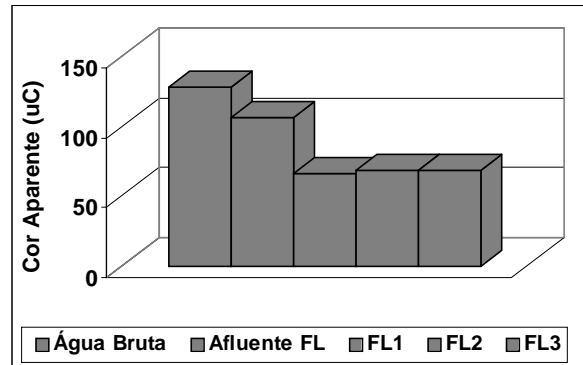


Figura 7 - Cor Aparente média obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

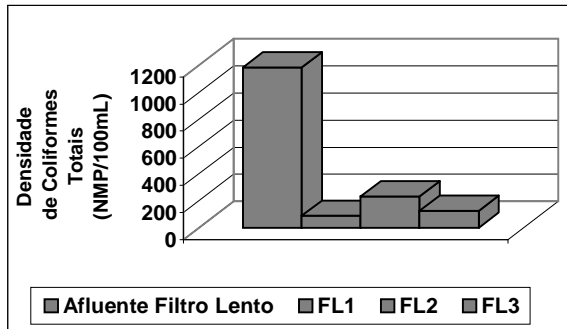


Figura 8 - Densidade média de coliformes totais obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

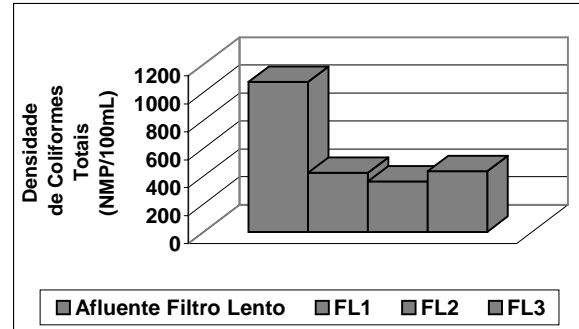


Figura 9 - Densidade média de coliformes totais obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

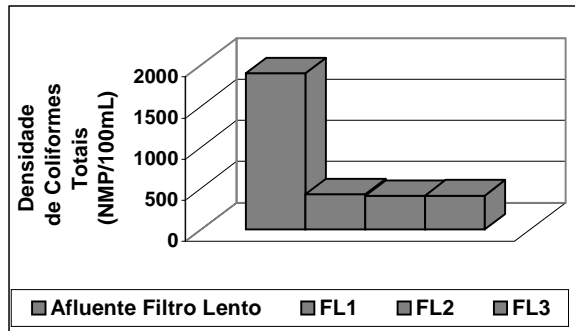


Figura 10 - Densidade média de coliformes totais obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

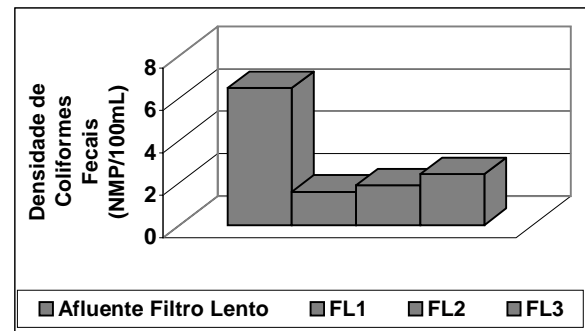


Figura 11 - Densidade média de coliformes fecais obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $3\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

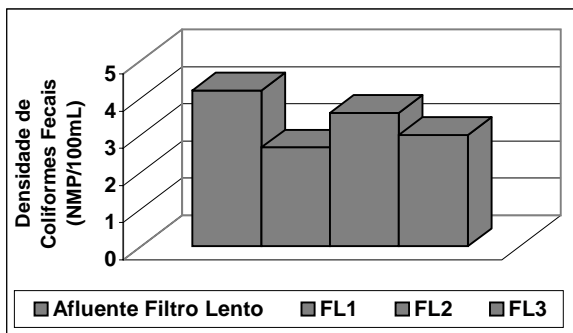


Figura 12 - Densidade média de coliformes fecais obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $6\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

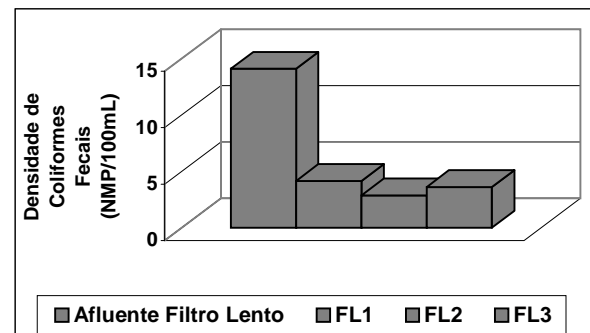


Figura 13 - Densidade média de coliformes fecais obtida nos ensaios com taxa de filtração de  $9\text{ m}^3/\text{m}^2$  dia.

**Tabela 5 - Custo comparativo entre duas unidades de filtração lenta, convencional e modificada.**

Material filtrante	Filtro lento convencional	Custo (US\$)	Filtro lento modificado	Custo (US\$)
Camada suporte	10 m <sup>3</sup> de pedregulho preparado	1240,00	35 m <sup>2</sup> de manta não tecida	70,00
Areia	10 m <sup>3</sup> de areia preparada	1240,00	15 m <sup>3</sup> de areia grossa de construção	150,00
Mantas não tecidas	100 m <sup>2</sup> de manta (3 camadas)	200,00	100 m <sup>2</sup> de manta (3 camadas)	200,00
Total		2680,00		420,00

filtração do que a taxa de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia e esta maior duração que a taxa de 9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia;

d) durante toda a pesquisa as carreiras de filtração tiveram duração relativamente curtas, devido a pequena altura do filtro, mesmo para a menor taxa de filtração empregada (3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia);

e) a manta M1 apresentou-se bastante eficiente como camada suporte de filtros lentos, evitando a passagem da areia e proporcionando baixa perda de carga ao sistema;

f) a areia grossa de construção civil, passada pela peneira de 1mm, demonstrou ser viável para ser empregada na filtração lenta proporcionando, assim, redução significativa do custo de implantação do sistema;

g) a substituição da camada suporte de pedregulho pela manta M1, indicou uma redução significativa no custo de implantação do sistema, sem prejuízo na qualidade do efluente filtrado;

h) as mantas empregadas no topo da camada de areia (M2 e M3) demonstraram ser facilmente limpas, após o término da carreira de filtração, com jatos de água;

i) a unidade de pré-filtração demonstrou ser eficiente na redução de turbidez e cor aparente da água bruta, beneficiando a duração das carreiras de filtração dos filtros lentos para a taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>dia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA e WPCF. *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*. 9ª Edição, Washington D.C./USA, American Public Health Association. (1995)

AZEVEDO NETTO, J.M. & HESPANHOL, I. *Filtração Lenta, In: Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água*. CETESB. São Paulo, 1979. 20ed., v.2, cap.23. p.869-882.

DI BERNARDO, L.; GRAHAM, N. J. D.; PATERNIANI, J. E. S. *Caracterização de Mantas Sintéticas não Tecidas Utilizadas na Filtração Lenta de Águas de Abastecimento*. Anais: XXIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. San Juan, Puerto Rico, Setembro, 1990a. 13p.

DI BERNARDO, L.; GRAHAM, N. J. D.; PATERNIANI, J. E. S. *Investigação Experimental sobre Desempenho de Mantas Sintéticas na Filtração Lenta de Águas de Abastecimento*. Anais: XXIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. San Juan, Puerto Rico, Setembro, 1990b. 18p.

DI BERNARDO, L. *Seminário sobre Pré-Filtração e Filtração Lenta de Águas de Abastecimento*. São Carlos - SP, 1991a. 167p.

DI BERNARDO, L. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. ABES. Rio de Janeiro, 1993. 498p.

DI BERNARDO, L. *Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas*. ABES/PROSAB. Rio de Janeiro, 1999.

GALVIS, G.; LATORRE, J.; VISSCHER, J.T. *Filtración em múltiplas etapas - Tecnología innovativa para el tratamiento de agua (version preliminar)*. IRC, CINARA, Colômbia. 1997.

MBWETTE, T. S. A. & GRAHAM, N. J. D. *Improving the Efficiency of Slow Sand Filtration with Non-Woven Synthetic Fabrics*. In: *Filtration and Separation*, vol. 24. London, 1987. p.46-50.

MBWETTE, T. S. A. & GRAHAM, N. J. D. *Pilot Plant Evaluation of Fabric-Protected Slow Sand Filters*. In: *Slow Sand Filtration - Recent Developments in Water Treating Technology*. Ed. N. J. D. Graham. London, England, 1988. cap.5.

PATERNIANI, J. E. S. *Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos - SP, 1991.245p.

VISSCHER, J.T.; PARAMASIVAM, R.; RAMAN, A; HEIJNEN, H.A.; *Filtración lenta em arena. Tratamiento de água para comunidades*. IRC, CINARA, Colômbia. 1992.

### Endereço para correspondência:

**José Euclides Stipp Paterniani**

**Cidade Universitária  
Zeferino Vaz  
Caixa Postal 6011  
CEP:13083-970  
Campinas- SP**

**Tel: (19) 3788-1019  
Fax: (19)788-1010  
e-mail: pater@agr.unicamp.br**

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESP pelos auxílios concedidos para realização do trabalho (Processo: 99/05370-1 e Processo: 99/01743-8).