

PRÉ-FILTRAÇÃO EM PEDREGULHO E FILTRAÇÃO LENTA COM AREIA, MANTA NÃO TECIDA E CARVÃO ATIVADO PARA POLIMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS TRATADOS EM LEITOS CULTIVADOS

JOSÉ E. S. PATERNIANI¹, MARCELO J. M. DA SILVA², TULIO A. P. RIBEIRO³,
MELINA BARBOSA⁴

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo comparar sistemas de filtragem, composto de pré-filtro de pedregulho seguido de filtro lento com o meio filtrante areia e no topo manta sintética não tecida e pré-filtro de pedregulho seguido de filtro lento com meio filtrante areia e carvão ativado granular e no topo manta sintética não tecida, para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados, visando à aplicação na fertirrigação. Na comparação dos sistemas de filtragem, avaliou-se a eficiência de remoção dos parâmetros: sólidos em suspensão, turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido, ferro, manganês, coliformes totais e *E. coli*. Os dois sistemas operavam 24 horas por dia, com a mesma taxa de aplicação, tratando uma vazão total final de $1,5 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, sendo que a taxa de aplicação para a unidade de pré-filtração era, em média, de $8,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e para cada uma das unidades de filtração lenta era, em média, de $2,7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. As unidades de pré-filtração e filtração lenta mostraram-se eficientes na redução das concentrações de sólidos suspensos, turbidez, cor aparente e DQO, como polimento de esgotos domésticos previamente tratados. O uso de carvão ativado granular, em combinação com areia, proporcionou ao filtro lento maior eficiência na remoção de sólidos suspensos, cor, turbidez, coliformes totais e *E. Coli.*, sem com isso aumentar a perda de carga inicial. Existe a possibilidade de utilização dos efluentes para a prática da fertirrigação, sendo necessário o processo de desinfecção ou não, dependendo da cultura e o sistema de irrigação utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: saneamento rural, tratamento de esgotos, reúso de água, fertirrigação.

PRÉ-FILTRATION IN BOULDER AND SLOW SAND FILTRATION WITH NON-WOVEN SYNTHETIC LAYERS AND GRANULATED VEGETAL COAL TO IMPROVE QUALITY IN WASTEWATER TREATED BY CONSTRUCTED WETLANDS

ABSTRACT: The objective of this study was the comparison between two filtration systems, being one composed of a boulder pre-filter followed by a slow filter with sand as filtration media and a non-woven synthetic fabric in the upper part, and the other one composed of a boulder pre-filter followed by a slow filter with sand as filtration media and granular activated charcoal and a non-woven synthetic fabric in the upper part, for the purification of household effluents treated in cultivated beds, to be applied in fertigation. The filtration systems were compared to assess the efficiency in the removal of the parameters: suspended solids, turbidity, apparent color, chemical oxygen demand, dissolved oxygen, iron, manganese, total coliforms and *E. coli*. The two systems operated 24 hours a day, with the same application rate, treating a total final flow of $1.5 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$, while the application rate for the pre-filtration unit was $8.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ on average and for each of the slow filtration units it was $2.7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ on average. The pre-filtration and slow filtration units were efficient in the reduction of suspended solids concentrations, turbidity, apparent color and COD, for the purification of previously treated domestic sewage. The use of granular activated charcoal combined with sand in the slow filter allowed a higher efficiency in the removal of suspended solids, color, turbidity, total coliforms and *E. Coli.*, without increasing the initial head loss. The use of effluents is possible in the fertigation practice, where the disinfection process may be necessary or not, depending on the cultivation and the irrigation system adopted.

KEYWORDS: rural environmental, wastewater treatment, water reuse, fertigation.

¹ Prof. Titular, Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas - SP

² Pesquisador Colaborador, Feagri/Unicamp, Bolsista Pós-Doc da FAPESP.

³ Técnico Superior, Feagri/Unicamp, Doutor em Engenharia Agrícola.

⁴ Tecnóloga em Saneamento Ambiental, FT, Unicamp.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 26-2-2010

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 28-4-2011

INTRODUÇÃO

O emprego de tecnologias simples e de baixo custo, como, por exemplo, a filtração lenta traz a possibilidade de viabilizar o aproveitamento de efluentes e minimizar os impactos ambientais sobre os recursos hídricos. A filtração lenta é um método de tratamento da água, adotado principalmente para comunidades de pequeno porte, cujas águas dos mananciais apresentam baixa turbidez e intensidade de cor. O processo consiste em fazer a água passar através de um meio granular com a finalidade de remover impurezas físicas, químicas e biológicas. Estudos sobre tecnologias de baixo custo envolvendo filtração lenta foram pesquisados e apresentados em trabalhos publicados por SILVA (2006) e PELEGRINI et al. (2007).

Estudos realizados recentemente mostraram ser viável o uso de mantas sintéticas não tecidas no topo e como suporte do meio filtrante, e também o uso de areia comum de construção peneirada em malha com abertura de 1 mm. Além da redução da espessura do meio filtrante, a manta sintética faz com que o “schmutzdecke” se forme na superfície desta, eliminando a necessidade de raspagem da areia para limpeza do filtro (SILVA, 2006).

O uso do carvão ativado tem a função de remoção da cor e de redução do potencial de formação de subprodutos tóxicos por meio da adsorção desses compostos (BRITO & RANGEL, 2008).

Estudos realizados por BAUMGARTNER et al. (2007) mostraram que, na fertirrigação de alface com efluentes de piscicultura e suinocultura tratados, produziram resultados de crescimento de massa verde e tamanho de folhas semelhantes às testemunhas irrigadas com água superficial, demonstrando assim que o aproveitamento agrícola de efluentes é tecnicamente viável. Tal viabilidade técnica, segundo TESTEZLAF (2008), depende da adequação de equipamentos às condições operacionais e à qualidade da água para que não haja perdas na eficiência do sistema de aplicação.

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo comparar sistemas de filtragem, composto de pré-filtro de pedregulho seguido de filtro lento com o meio filtrante areia e no topo manta sintética não tecida e pré-filtro de pedregulho seguido de filtro lento com meio filtrante areia e carvão ativado granular e no topo manta sintética não tecida, para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados, visando à aplicação na fertirrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Campinas, Estado de São Paulo. O afluente do experimento foi oriundo do esgoto doméstico proveniente da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, o qual passou por tratamento terciário, realizado em reatores anaeróbios e leitos cultivados. Em seguida, o efluente foi dividido em duas parcelas iguais, sendo que uma delas passou por um sistema de filtragem composto por pré-filtro de pedregulho e filtro lento com areia e manta não tecida, e a outra por um pré-filtro de pedregulho e filtro lento com areia, carvão e manta não tecida.

A metodologia adotada na presente pesquisa está de acordo com estudos realizados por SILVA & PATERNIANI (2008) e RIBEIRO et al. (2008), que avaliaram a qualidade dos efluentes com tratamento terciário realizado em leitos cultivados (wetlands) e polido apenas com filtração lenta para atender a critérios de reúso de esgoto sanitário, assim como para a possível utilização em sistema de irrigação localizada, levando-se em consideração os riscos de entupimentos de gotejadores.

Nas amostragens de campo, foram determinados fatores relacionados às principais características da água residuária, tais como: turbidez, concentração de sólidos suspensos, cor aparente, pH, ferro, manganês, demanda química de oxigênio, oxigênio dissolvido e coliformes totais e *E. coli*. Todas as análises foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2006).

Os filtros eram todos dimensionalmente iguais, diferenciando-se entre si apenas quanto ao elemento filtrante, que é descrito detalhadamente adiante. Assim, pôde-se garantir semelhança funcional entre os filtros, possibilitando a comparação entre suas eficiências. Os filtros eram constituídos de recipientes de polipropileno, de forma cilíndrica, com 0,6 m diâmetro e altura útil de 1,2 m, apresentando, portanto, seção circular de 0,28 m² de área. O fundo dos filtros era cônico, onde foi apoiada uma grade metálica com a função de suportar o meio filtrante, tal como está mostrado na Figura 1. Em ambos os tratamentos, os pré-filtros de pedregulho eram idênticos e dimensionalmente iguais aos filtros lentos. O meio filtrante utilizado, no entanto, era de pedregulho e seguiu recomendação de SILVA (2006), quanto a sua granulometria e espessuras de camadas, conforme é apresentado na Tabela 1.

TABELA 1. Características do meio filtrante do pré-filtro de pedregulho. **Characteristics of the pre-filter.**

Camadas	Material Granular (mm)	Espessura (m)
Camada Superior	3,2 a 6,4	0,25
Camada Intermediária	6,4 a 19,0	0,25
Camada Inferior	19,0 a 31,0	0,25

O princípio de funcionamento de filtros lentos baseia-se na passagem da água pela camada filtrante, que é constituída de areia. Portanto, é muito importante a determinação da granulometria correta da areia que constituirá esse leito filtrante. Para DI BERNARDO & DANTAS (2005), a determinação adequada deve utilizar os parâmetros de diâmetro médio efetivo (D10), coeficiente de uniformidade (CU), coeficiente de desuniformidade (D60/D10), esfericidade e porosidade, que são primordiais para a condição ideal de filtração.

Assim, num dos filtros lentos, o meio filtrante utilizado foi areia com 0,40 m de espessura, diâmetro efetivo, D10 de 0,225 mm e coeficiente de desuniformidade, D60/D10 igual a 3. Segundo DI BERNARDO (1999), a variação de D10 pode ser entre 0,15 e 0,25 mm, e a do coeficiente de desuniformidade, entre 2 e 5, para a filtração lenta. No topo da camada de areia foram colocadas três mantas sintéticas não tecidas idênticas, com as seguintes características: permeabilidade normal-0,5 cm s⁻¹; permissividade-1,6 s⁻¹; espessura-3,8 mm; abertura dos poros-0,150 mm, e gramatura 380 g m⁻². O meio filtrante do segundo filtro lento teve a espessura de areia reduzida de 0,40 m para 0,30 m, tendo sido inserida no interior desta uma camada de 0,10m de carvão ativado granular, constituindo o diferencial entre os dois filtros. Acima da camada de areia do segundo filtro, foram também colocadas as três camadas de manta. Na Figura 1, ilustra-se o esquema do sistema de filtração.

Os dois sistemas de tratamento operavam 24 horas por dia, com a mesma taxa de aplicação. A vazão total final era de 70 L h⁻¹, sendo que a taxa de aplicação para a unidade de pré-filtração era de 10 m³ m⁻² dia⁻¹ e para cada uma das unidades de filtração lenta era de 3 m³ m⁻² dia⁻¹. O período de avaliação do sistema foi de 10 meses. A frequência de amostragem variava conforme a importância, para a filtração lenta, do parâmetro analisado. Assim, para os parâmetros, sólidos suspensos, *E.coli*, coliformes fecais, OD e DQO, a frequência de amostragem era de duas vezes por semana, para o Ferro e Manganês era semanalmente e para a turbidez, cor aparente e pH, diariamente.

A limpeza dos filtros lentos era realizada quando a qualidade do efluente foi inadequada ou a perda de carga excessiva, feita com a retirada das mantas sintéticas não tecidas que recobrem o meio filtrante e a limpeza dessas com jato d'água pressurizada.

A avaliação dos filtros foi feita com base na eficiência de remoção dos parâmetros analisados e na evolução da perda de carga em função do tempo. O monitoramento da perda de carga nos filtros lentos foi feito pela diferença entre o nível da lâmina de água livre e o orifício de extravasamento. Esta metodologia está fundamentada na operação com taxa de filtração constante e

perda de carga variável, considerada mais apropriada, conforme recomendação de DI BERNARDO (1999).

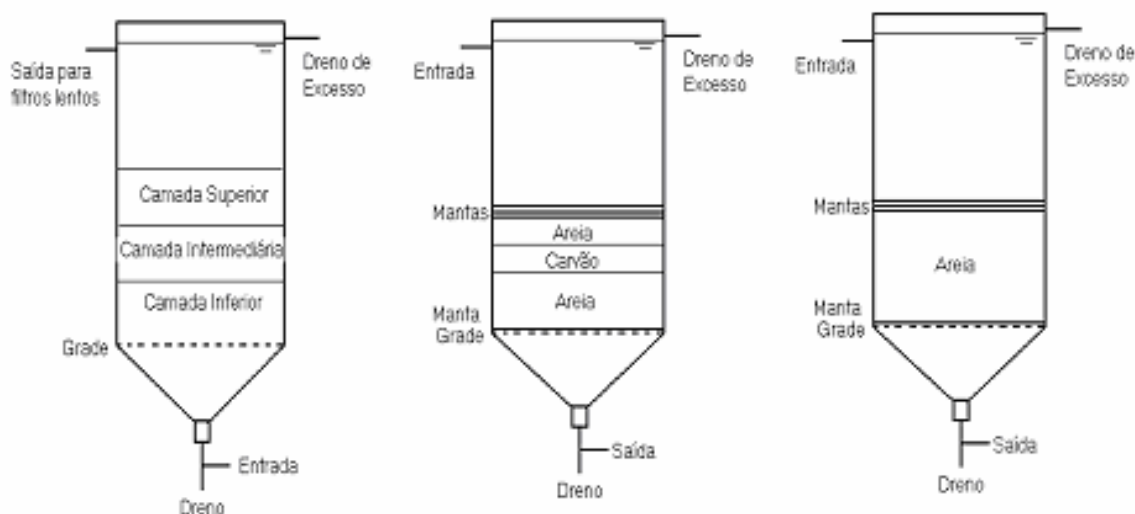


FIGURA 1. Esquema construtivo do pré-filtro e dos dois filtros lentos. **Constructive scheme of the pre-filter and two slow sand filters.**

A avaliação dos resultados foi realizada comparando-se a média, valores máximos e mínimos e desvio-padrão de cada parâmetro, com os valores recomendados para uso de esgoto tratado em fertirrigação, conforme apresentado em BASTOS (2003).

Buscou-se também apresentar as limitações do uso de esgoto doméstico tratado, com relação aos riscos de entupimento em sistemas de irrigação localizada, com base nos estudos realizados por NAKAYAMA & BUCKS (1991), em que são apresentados os limites de parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água, com relação ao grau de entupimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O afluente utilizado na presente pesquisa foi o tratado em reatores anaeróbios compartimentados, seguidos por leitos cultivados. As amostras coletadas ao longo dos ensaios apresentaram os valores mostrados na Tabela 2.

TABELA 2. Valores dos parâmetros amostrados da água do afluente durante o experimento. **Parameter values sampled of the water inflow during the experiment.**

Parâmetros	Média	Desvio-Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo
Turbidez [NTU]	32,1	16,6	107	10
Cor aparente [mg L ⁻¹ de Pt-Co]	177,2	65	343	10
Temperatura [°C]	23,7	3,2	30,2	17,6
Oxigênio dissolvido [mg L ⁻¹]	2,9	1,3	6,3	0,7
pH	7,0	0,2	7,6	6,6
Col. totais [NMP(100ml) ⁻¹]	1,4 x 10 ⁶	1 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁶	6,5 x 10 ⁴
<i>E. coli</i> [NMP(100ml) ⁻¹]	3,2 x 10 ⁵	5,7 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁴
Ferro total [mg L ⁻¹]	0,7	0,5	1,8	0,3
Manganês total [mg L ⁻¹]	0,077	0,019	0,125	0,053
Sólidos em suspensão [mg L ⁻¹]	13,4	6,8	40,0	5,0
Demanda química de oxigênio [mg L ⁻¹]	53,9	30,3	132,8	8,1

Todos os parâmetros analisados no afluente (Tabela 2) variaram no decorrer dos ensaios, chegando a valores superiores aos recomendados por DI BERNARDO (1999) para filtros lentos, indicando, portanto, a necessidade de uma unidade de pré-filtração.

Caso o afluente fosse utilizado em sistemas de irrigação localizada, de acordo com NAKAYAMA & BUCKS (1991), o afluente em estudo deveria ser classificado como de severo risco de entupimento de gotejadores com relação ao pH e ao ferro, porém de risco baixo com relação ao manganês total.

As taxas de aplicação utilizadas no presente experimento tiveram valores médios de $8,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no pré-filtro de pedregulho e $2,7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ nos filtros lentos, correspondendo à vazão de $1,5 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, capaz de atender cerca de 10 pessoas, considerando consumo *per capita* de $150 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, considerado comum em pequenas comunidades. A perda de carga inicial de ambos os filtros apresentou valores baixos, próximos a 10 cm, em todos os ensaios, indicando que a influência do uso de camada de carvão no meio filtrante é pequena, quando comparada à perda de carga causada pelo desenvolvimento do “schmutzdecke”¹.

As equações 1 e 2 referem-se às curvas de regressão que representam a evolução da perda de carga ao longo do tempo, devido ao acúmulo de impurezas, nos filtros de areia e de areia com carvão, respectivamente.

$$\Delta H_{\text{Areia}} = 6,2543e^{0,0565d} \quad (1)$$

$$\Delta H_{\text{Areia_Carvão}} = 7,1148e^{0,0,591d} \quad (2)$$

em que,

ΔH - perda de carga, cm, e

d - tempo de duração da carreira de filtração, dias. (intervalo de funcionamento de um filtro lento entre operações de limpeza).

Considerando a altura-limite disponível no interior dos filtros de 70 cm, para a evolução da perda de carga devido ao acúmulo de impurezas retidas, obtém-se pela eq.(2) (filtro lento de carvão e areia) duração da carreira de filtração de 39 dias, e pela eq.(1) (filtro de areia), duração da carreira de filtração de 43 dias. Esses valores de duração de carreiras de filtração estão de acordo com os citados por DI BERNARDO (1999).

TABELA 3. Resultados médios obtidos de cor aparente, oxigênio dissolvido, ferro, sólidos suspensos, manganês, turbidez e demanda química de oxigênio. **Average results obtained from apparent color, dissolved oxygen, iron, suspended solids, manganese, turbidity and chemical oxygen demand.**

	Unidade	OD mg L ⁻¹ de O ₂	Ferro mg L ⁻¹	Sól Susp mg L ⁻¹	Manganês mg L ⁻¹	Cor Aparente mg L ⁻¹ de Pt- Co	Turbidez [NTU]	DQO mg L ⁻¹ de O ₂
Média dos Ensaio	Afluente do Pré-Filtro	2,9	0,69	13,4	0,077	177,2	32,1	53,9
	Efluente do Pré-Filtro	3,5	0,99	10,5	0,123	177,0	25,9	30,2
	Efluente do FL de Carvão e Areia	3,1	1,64	8,3	0,125	107,4	14,5	20,1
	Efluente do FL de Areia	2,7	1,60	9,2	0,103	131,0	17,1	31,4
Eficiência Média de Remoção (%)	Pré-Filtro	*	*	21,64	*	0,10	19,38	43,97
	FL de Carvão e Areia	*	*	20,95	*	39,31	44,01	33,33
	FL de Areia	*	*	12,38	*	26,01	33,76	-

Obs: * Esses parâmetros não foram removidos por sistema de filtração lenta.

¹ Schmutzdecke: palavra de origem alemã que significa “camada de sujeira”. Na tecnologia da filtração lenta, essa palavra é empregada para denominar a camada biológica de impurezas retida no topo do meio filtrante do filtro lento.

A concentração de sólidos em suspensão no afluente ao sistema de tratamento apresentou valor médio de $12,4 \text{ mg L}^{-1}$, conforme apresentado na Tabela 2. De acordo com NAKAYAMA & BUCKS (1991), este valor é considerado de baixo risco de entupimento para águas de reúso em sistemas de fertirrigação localizada. FRIGO et al. (2006) utilizando efluentes de suinocultura filtrado, relacionaram a uniformidade de distribuição da água irrigada diretamente com o teor de sólidos em suspensão na água utilizada. As unidades de pré-filtração e filtração lenta reduziram a concentração de sólidos suspensos, em média de 21,64%, 20,95 % e 12,38%, respectivamente, no pré-filtro, no filtro lento com carvão e areia e no filtro lento somente com areia (Tabela 3). VERAS & Di BERNARDO (2008) também obtiveram maiores valores de eficiência de remoção de contaminante nas unidades, utilizando carvão ativado granular, em relação ao uso apenas de areia na composição do meio filtrante.

A remoção da turbidez nas unidades experimentais mostrou-se eficiente nos ensaios realizados. O afluente apresentou turbidez média de 32,1 NTU (Tabela 3), que pode ser considerado um valor aceitável para sistemas de irrigação localizada com relação a problemas de entupimentos de acordo com estudos realizados por PATERNIANI et al. (2008), em que os autores encontraram valores de turbidez de água para irrigação de até 16,9 NTU, sem que fossem constatados problemas de entupimento em sistema de irrigação por gotejamento.

As eficiências de remoção da cor aparente, pelas unidades do sistema de filtração, foram de 0,1%, 39,31% e 26,01%, respectivamente, no pré-filtro, no filtro lento com carvão e areia e no filtro lento somente com areia (Tabela 3). O melhor resultado obtido no filtro lento com carvão e areia está de acordo com resultados de TANGERINO et al. (2006), indicando que o carvão é eficiente na remoção de substâncias que conferem cor à água.

Os filtros mostraram-se eficazes ao longo de todos os ensaios na remoção de DQO, assim como nos parâmetros físicos (cor aparente, turbidez e sólidos em suspensão), sendo os valores médios dos parâmetros obtidos no efluente do filtro lento com carvão e areia sempre menores do que no efluente do filtro lento somente com areia. Assim, comparando-se a eficiência média de remoção entre os dois filtros avaliados, constata-se que o filtro lento de carvão e areia foi mais eficaz (Tabela 3).

Os valores de DQO apresentaram-se, nos efluentes das 3 unidades dos sistemas de tratamento, bem inferiores àqueles obtidos em pesquisas onde foram utilizados efluentes de esgoto com a finalidade de fertirrigação. SANTOS et al. (2006) utilizaram efluente de reator UASB e Lagoa de Polimento com DQO de 122 mg L^{-1} . Em outros estudos feitos por SOUZA et al. (2009), foi utilizado efluente primário de suinocultura com DQO de 320 mg L^{-1} e efluente secundário (filtro biológico) com DQO de 212 mg L^{-1} . BASTOS (2003) relata que obteve valores de DQO variando de 96 a 271 mg L^{-1} para efluentes de tratamento anaeróbio utilizando reatores UASB e filtros anaeróbios. O mesmo autor cita que efluentes de lagoas de estabilização, que foram utilizados em experimentos de irrigação, apresentaram valor de DQO variando entre 48 e 246 mg L^{-1} .

Considerando-se que os valores de DQO sempre são superiores aos de DBO, este valor pode ser considerado aceitável quando utilizado como água de reúso para fins agrícolas, para fertirrigação de plantas consumidas cozidas, para fertirrigação de plantas não comestíveis, resfriamento sem recirculação e reúso para melhoria ambiental, pois os valores indicados pela U.S.EPA (2010) são 30 mg L^{-1} para DBO e 30 mg L^{-1} para sólidos suspensos.

Os valores encontrados para ferro, manganês e sólidos suspensos nos efluentes dos sistemas de tratamentos, quando utilizados como água de reúso para fins agrícolas em sistema de fertirrigação localizada, apresentam baixo risco de entupimentos do gotejador, no que se refere à presença do manganês e de sólidos suspensos, cujos valores máximos são de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ e 50 mg L^{-1} , respectivamente, e severo risco de entupimento no caso do ferro, cujo valor máximo é de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, segundo NAKAYAMA & BUCKS (1991). Estes três parâmetros também foram medidos em estudo realizado por FACTOR et al. (2008), sobre a utilização de efluentes de suinoculturas tratados em biodigestores com finalidade de fertirrigação, os quais obtiveram valores

de 26 mg L⁻¹, 1,4 mg L⁻¹ e 2.000 mg L⁻¹, respectivamente, indicando que os efluentes dos sistemas de tratamento podem ser utilizados para fertirrigação, em relação a estes parâmetros, lembrando que o mesmo só terá restrição quando utilizado em sistemas de irrigação localizada.

BASTOS (2003) cita que efluentes de reatores anaeróbios, utilizados em experimentos de irrigação, tinham valores de manganês de, no máximo, 0,09 mg L⁻¹, sólidos suspensos entre 36,2 e 156,3 mg L⁻¹ e ferro de 0,14 a 0,70 mg L⁻¹. O mesmo autor cita que, no projeto de um sistema de irrigação por gotejamento com efluentes de lagoas de estabilização, foram detectados teores de ferro de 0,8 mg L⁻¹, considerado de risco médio de entupimento, de acordo com NAKAYAMA & BUCKS (1991). Assim, os autores consideraram necessário o monitoramento do sistema de irrigação para evitar problemas de entupimento, que podem ser causados pelo desenvolvimento de ferrobactérias. Problemas referentes a entupimentos de sistema de irrigação localizada pela presença de ferrobactérias na água podem ser solucionados com a injeção de uma solução de hipoclorito de sódio e ácido sulfúrico no cabeçal de controle do sistema de irrigação, conforme trabalhos desenvolvidos por RIBEIRO & PATERNIANI (2008).

No presente trabalho, a concentração de ferro total teve um acréscimo no decorrer das unidades de filtração, possivelmente devido ao desprendimento deste elemento das grades metálicas utilizadas como suporte do meio filtrante na montagem dos filtros (Figura 1).

A presença de coliformes totais e *E. coli*. no afluente do sistema de filtração foi, em média, da ordem de 10⁶ e de 10⁵, respectivamente. Segundo recomendação da Organização Mundial de Saúde (1989), águas residuárias com estas faixas de valores de coliformes são enquadradas na categoria B, sendo indicadas para a fertirrigação de cereais, plantas têxteis, forragens, pastagens e árvores. Em árvores frutíferas, a irrigação deve terminar duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão. Nestes casos, sistema de irrigação por aspersão não deve ser empregado. De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, o filtro lento com carvão e areia foi o que produziu efluente de melhor qualidade microbiológica, com valor médio de *E.coli* igual a 9,13 x 10⁴ NMP 100 mL⁻¹, tornando o efluente mais seguro para aproveitamento agrícola na categoria B.

BASTOS (2003) cita que efluentes utilizados em experimentos de irrigação, de sistema de tratamento com reatores UASB e filtros anaeróbios e de lagoa de estabilização, apresentaram valores de *E.coli* na faixa de 10⁵ a 10⁸ NMP 100 mL⁻¹ e 10 a 10⁵ NMP 100 mL⁻¹, respectivamente. Os experimentos utilizaram método de irrigação por superfície para as culturas do milho, capim, arroz, girassol, gergelim e sorgo, indicando que os efluentes dos sistemas de tratamento desta pesquisa poderiam ser utilizados para fertirrigação no que se refere a *E.coli*.

Os critérios de qualidade microbiológica de efluentes, usualmente, encontram-se associados ao tipo de cultura e ao método de irrigação (BLUMENTHAL et al., 1989). Em geral, recomendações mais restritivas são dirigidas à irrigação de produtos ingeridos crus, com a utilização de sistema de irrigação por aspersão; em outro extremo, recomendações mais permissíveis são admitidas para as culturas não comestíveis e para utilização de irrigação localizada (OMS, 1989).

Durante todos os ensaios, o pré-filtro de pedregulho não apresentou redução efetiva de coliformes totais e *E. coli*., devido ao fato de o afluente ser esgoto doméstico que passou por tratamento primário. Com relação aos filtros lentos, o de elemento filtrante composto de carvão e areia foi o que apresentou o melhor resultado na redução de coliformes totais, (Tabela 4), estando de acordo com o relatado por DI BERNARDO (1999), em que a faixa de remoção é de 70% a 98%. Mesmo constatando-se que houve redução na concentração bacteriológica no efluente final do sistema, esta ainda permaneceu em média da ordem de 10⁵ NMP 100 mL⁻¹, necessitando, deste modo, de uma unidade de desinfecção posterior, dependendo do uso que se fizer deste efluente. Se for utilizado para fertirrigação, sugere-se que o efluente, depois do processo de desinfecção, apresente valores bacteriológicos até 10³ NMP 100 mL⁻¹ para irrigação irrestrita e de 10⁴ NMP 100 mL⁻¹ para irrigação restrita (BASTOS, 2003).

Informações gerais sobre experimentos de irrigação com esgotos tratados mostram que efluentes de reator UASB mais lagoa de polimento, com valores da ordem de 10^5 de *E. coli* 100 mL^{-1} , foram utilizados em culturas de milho e acerola para sistema de irrigação por gotejamento. Em outro experimento utilizando sistema de tratamento de esgoto sanitário com reator UASB e depois disposição no solo, a concentração de *E. coli* no efluente era da ordem de 10^6 a 10^7 NMP 100 mL^{-1} , para as culturas do milho e gramínea Tifton 85 (*Cynodon sp*), cujos sistemas de irrigação eram realizados por sulcos e inundação, respectivamente (BASTOS, 2003). No primeiro caso, segundo classificação da OMS (1989), o efluente pode ser utilizado com restrição a culturas não comestíveis *in natura*. Já no segundo experimento, o efluente produzido não deve ser empregado para irrigação, pois os valores de *E. coli* ultrapassam os limites estabelecidos pela OMS (1989).

TABELA 4. Média, desvio-padrão e porcentagem de remoção de coliforme totais e *E. coli*, nas unidades do sistema de filtração. **Mean, standard deviation and percentage removal of total coliform and *E. coli*, in the units of filtration.**

Tratamento	Coliformes Totais NMP (100mL^{-1})			<i>E. coli</i> NMP(100mL^{-1})		
	Média	Desvio- -Padrão	% de remoção	Média	Desvio- -Padrão	% de remoção
Média dos ensaios						
Afluente do Pré-Filtro	$1,29 \times 10^6$	$4,18 \times 10^5$	-	$3,08 \times 10^5$	$1,82 \times 10^5$	-
Efluente do Pré-Filtro	$1,04 \times 10^6$	$6,22 \times 10^5$	46,82	$3,92 \times 10^5$	$3,50 \times 10^5$	-27,27
Efluente do FL de Carvão e	$3,09 \times 10^5$	$2,98 \times 10^5$	70,85	$9,13 \times 10^4$	$3,50 \times 10^5$	76,70
Efluente do FL de Areia	$4,09 \times 10^5$	$2,45 \times 10^5$	61,41	$1,04 \times 10^5$	$8,32 \times 10^4$	73,47

CONCLUSÕES

Para o sistema de irrigação localizada, os efluentes apresentaram baixo risco de entupimentos em relação aos parâmetros físicos.

Os resultados indicaram que a introdução de uma camada de carvão ativado no meio filtrante de areia proporcionou a maior eficiência na remoção de todos os parâmetros avaliados.

As eficiências de remoção dos parâmetros de maior relevância, no filtro lento, tendo como meio filtrante a areia e mantas sintéticas e areia, carvão ativado e mantas sintéticas, foram respectivamente: 27,2 e 34,2% para sólidos em suspensão; 26,01 e 39,3% para turbidez; 33,7 e 44,01% para cor aparente; 57,5 e 74,6% para coliformes totais, e 70,7 e 72,6% para *E. coli*.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo aporte financeiro destinado a esta pesquisa (Processo nº 03/00344-0).

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WEF. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Washington, 2006. Disponível em: <http://www.standardmethods.org>. Acesso em: 24 jan. 2010.

BASTOS, R.K.X. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES/Ed. Rima, 2003.

- BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T.R.; TEO, C.R.P.A.; VILAS BOAS, M.A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.152-163, 2007.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357/05. *Dispõe sobre a Classificação dos Corpos de Água*. 2005.
- BRITTO, J.M.; RANGEL, M.C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. *Química Nova*, v.31, n.1, p.114-122, 2008.
- BRUMENTHAL, U.J.; STRAUSS, M.; MRA, D.D.; CAIRNCROSS, S. Generalized model of the effect of different control measures in reducing health risks from waste reuse. *Wat. Sci. Tech.*, v.21, n.6-7, p.567-577, 1989.
- Di BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2.ed. Ed. Rima, v.1, 2005.
- DI BERNARDO, L. Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. p.114.
- FACTOR, T.L.; ARAUJO, J.A.C.; VILELLA, L.V.E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.12, n.2, p.143-149.
- FRIGO E.P.; SAMPAIO, S.C.; FREITAS, P.L.; NOBREGA, L.H.; SANTOS, R. F.; MALLMANN, L.S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura, *Irriga*, Botucatu, v.11, n.3, p.305-318, 2006.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. *Irrigation Science*, v.12, p.187-192, 1991.
- OMS. Directrices sanitárias sobre el uso de aguas residuales em agricultura y acuicultura. Ginebr: Organización Mundial de La Salud, 1989. 90 p. (Serie Informes Técnicos, 78).
- PATERNIANI, J.E.S.; SILVA, M.J.M.; RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R.P.S. A importância da qualidade da água nos projetos de irrigação - um estudo de caso. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Campinas, v.2, p.223-230, 2008.
- PELEGRINI, N.N.B.; PELEGRINI, R.T.; PATERNIANI, J.E.S. Filtração lenta no tratamento de percolado de aterro sanitário. *Revista Minerva*, v.4, p.85-93, 2007.
- RIBEIRO, T.A.P.; PATERNIANI, J.E.S.; AIROLDI, R.P.S.; SILVA, M.J.M. Comparison of filtrating elements in the treatment of irrigation water. *Transactions of the ASAE*, st. Joseph, v.51, p.441-453, 2008.
- RIBEIRO, T.A.P.; PATERNIANI, J.E.S. Microaspersores entupidos devido a problemas de ferro na água. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.5, p.1.456-1.459, 2008.
- SANTOS, K.D.; HENRIQUE, I.N.; SOUSA, J.T.; LEITE, V.D. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, n.1, 2006. Suplemento Especial
- SILVA, M.J.M. Uso da filtração lenta e técnicas de desinfecção para adequação de esgotos sanitários aos padrões de lançamento e reúso. 199 f. Tese (Doutorado em Saneamento e Ambiente) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- SILVA, M.J.M.; PATERNIANI, J.E.S. Comparação entre cloração, radiação ultravioleta e radiação solar (Sodis), com fluxo contínuo na desinfecção de efluentes domésticos. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, Campinas, v.3, p.117-126, 2008.
- SOUZA, J.A.R.; MOREIRA, D.A.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. Variação do nitrogênio e fósforo em solo fertirrigado com efluente do tratamento primário da água residuária da suinocultura Ambiente e Água. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v.4, n.3, p.111-122, 2009.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, 2008.

TANGERINO, E.P.; MATSUMOTO, T.; ALVES, E.J.R.; TAKEUTI, M.R.S. Remoção de cor em colunas de carvão ativado granular como polimento de efluente de instalação filme, em função da taxa de aplicação. In: AIDIS-Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sección Uruguay. Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio. Montevideo, AIDIS, 2006. p.1-8.

USEPA. UNITED ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em: <http://www.epa.gov>. Acesso em: 3 mar. 2010.

VERAS, L.R.V.; DI BERNARDO, L. Tratamento de Água de Abastecimento por meio da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas - FIME. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v.13, n.1, p.109-116, 2008.