

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO LENTA  
NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LEITOS  
CULTIVADOS**

**LUCIANA DE RESENDE LONDE**

CAMPINAS  
ABRIL /2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFICIÊNCIA DA FILTRAÇÃO LENTA  
NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LEITOS  
CULTIVADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Engenharia Agrícola para obtenção do Título  
de Mestre em Engenharia Agrícola na área  
de concentração Água e Solos.

**LUCIANA DE RESENDE LONDE**

**Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani**

CAMPINAS  
ABRIL / 2002

*"Como hão de ser as palavras? Como as estrelas. As estrelas são muito distintas e muito claras. (...) E nem por isso temais que pareça o estilo baixo: as estrelas são muito distintas e muito claras e altíssimas. O estilo pode ser muito claro e muito alto: tão claro que o entendam os que não sabem e tão alto que tenham muito que entender nele os que sabem. O rústico acha documentos nas estrelas para a sua lavoura, o mareante para a sua navegação e o matemático para as suas observações e para os seus juízos. De maneira que o rústico e o mareante, que não sabem ler nem escrever, entendem as estrelas e o matemático, que tem lido quantos escreveram não alcança a entender quanto nelas há."*

*(Sermão da Sexagésima, Pe. Antônio Vieira)*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani, pela orientação e acompanhamento deste trabalho com paciência e serenidade.

Ao Prof. Dr. Dênis Miguel Roston, pelas contribuições a este trabalho e ao meu aprimoramento profissional.

Aos Professores Ricardo Lima Isaac, Edson Abdul Nour e Rubens Bresaola, pelas sugestões e contribuições.

Ao Délvio, por toda a compreensão e cooperação, frente aos problemas com o uso em comum dos efluentes dos leitos cultivados.

A todos os funcionários do Campo Experimental da FEAGRI, ao Sérgio, Gélson e Túlio, pelo apoio com atenção e boa vontade.

Ao Prof. José Teixeira, pelo apoio pessoal e profissional durante o curso.

Ao Luis, companheiro que eu amo tanto, por também "me amar e me ensinar a amar"

Aos "Ruberletos", por serem a minha família campineira: Alysson, as duas Angelas, Carlos, Flávia, Ju, Marisa, Manuel, Tati.

À Fúlvia, pela acolhida e pelo incentivo.

Aos amigos distantes, por estarem sempre presentes: Rose, Raquel, Carlinhos, Elis, Francis, Vanessa, Wilson.

Aos amigos próximos e presentes: Patricinha, Carol, Caetano, Sérgio, Sílvia.

A todos os que ouviram sobre minhas reflexões, meus conflitos, minhas angústias e me ajudaram a ser mais feliz: Marta Romano, Luis, Alysson, Suzana, Cristiane, Osvaldo, Guilherme, Firmino, Sílvia.

Ao pessoal do Raio de Sol e da ITCP, por me ajudarem a sair do meu "mundinho" e a abrir os olhos e o coração às PESSOAS deste mundo.

Aos colegas Cláudia Ferraz, Marco Pires, Renata Ottina e Rogério Airoidi, pela convivência tranqüila e pela troca de experiências.

À minha família, que é a minha base.

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho. (Processo 00/01511-9)

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS-----	III
LISTA DE FIGURAS-----	V
LISTA DE TABELAS-----	VI
RESUMO-----	VII
SUMMARY-----	VIII
1. INTRODUÇÃO-----	1
2. OBJETIVOS-----	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-----	4
3.1. Leitões Cultivados-----	4
3.2. Filtros Lentos-----	5
3.2.1. Histórico da Filtração Lenta-----	5
3.2.2. Filtros Lentos e sua eficiência na remoção de microrganismos-----	7
3.3. Reuso de água-----	9
3.3.1. Reuso de água na agricultura-----	9
4. MATERIAL E MÉTODOS-----	12
4.1. Local do experimento-----	12
4.2. Tratamento anterior à Filtração Lenta-----	12
4.3. Sistema de Filtração Lenta-----	12
4.4. Material Filtrante Utilizado-----	16
4.4.1. Areia-----	16
4.4.2. Mantas Sintéticas não tecidas-----	21
4.5. Controle de Vazão-----	23
4.6. Programa dos Ensaios-----	26
4.7. Testes de Desinfecção por luz solar pelo método SODIS-----	28
4.8. Exames Biológicos-----	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	30
5.1. Comparação dos Resultados Obtidos com diferentes taxas de filtração-----	31
5.2. Testes de desinfecção do efluente do Filtro Lento através do método SODIS---	32
5.3. Resultados dos exames biológicos-----	33
6. ARTIGOS-----	34
6.1. Artigo Científico I-----	35
6.2. Artigo Científico II-----	50
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS-----	67
8. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS-----	68
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	69
10. APÊNDICE-----	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 _ Fotografia dos Leitos Cultivados -----	14
Figura 2 _ Fotografia do Filtro Lento com os Leitos Cultivados ao fundo -----	14
Figura 3 _ Fotografia do Filtro Lento -----	15
Figura 4 _ Desenho esquemático do Filtro Lento -----	16
Figura 5 _ Utensílio utilizado para lavagem da areia -----	17
Figura 6 _ Utensílio utilizado para lavagem da areia -----	17
Figura 7 _ Processo de lavagem da areia -----	18
Figura 8 _ Processo de lavagem da areia -----	18
Figura 9 _ Curvas de Distribuição Granulométrica dos diferentes tipos de areia--	20
Figura 10 _ Esquema ilustrativo da fixação das mantas no Filtro Lento -----	22
Figura 11 _ Mantas não tecidas após um ensaio com o Filtro Lento -----	23
Figura 12 _ Lavagem de uma das mantas -----	23
Figura 13 _ Mantas sintéticas não tecidas limpas -----	23
Figura 14 _ Desenho esquemático em corte da caixa de controle de vazão-----	24
Figura 15 _ Fotografia da caixa de controle de vazão do afluyente do Filtro Lento-	25
Figura 16: Comparação entre as porcentagens de remoção obtidas em ensaios com taxas de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ -----	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 _ Características granulométricas obtidas para a areia grossa utilizada em construção civil e características recomendadas para a areia usualmente empregada em Filtros Lentos-----	19
Tabela 2 _ Propriedades e Composição das mantas sintéticas não tecidas-----	22
Tabela 3 _ Frequência de análises do afluente e efluente do Filtro Lento-----	26
Tabela 4 _ Metodologia e aparelhos utilizados nas análises-----	27
Tabela 5 _ Resultados dos testes de desinfecção pelo método SODIS-----	32
Tabela 6 _ Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados em ensaios com taxa de Filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia-----	74
Tabela 7 _ Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados em ensaios com taxa de Filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia-----	77

## RESUMO

Atualmente é visível a preocupação mundial com a escassez de água e a busca de métodos para reutilizá-la com segurança para a saúde e o ambiente. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade e eficiência do uso de um filtro lento no tratamento de efluentes de leitos cultivados (constructed wetlands) da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O sistema de Filtração Lenta é composto por uma caixa de PEMD rotomoldado, tendo como meio filtrante a areia grossa de construção civil passada por peneira de 1 mm e mantas sintéticas não tecidas. Para os ensaios realizados com taxa de filtração igual a  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , o Filtro Lento reduziu, em média, em 64% a turbidez, 38% a cor, 62% os sólidos suspensos totais, em 92,57% os *E. coli* e em 85,61% os coliformes totais. Nos ensaios com taxa de filtração igual a  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , a redução em média foi de 72% para turbidez, 44% para cor, 67% para sólidos suspensos totais, 83,87% para *E. coli* e 82,90% para coliformes totais. Apesar do bom desempenho do Filtro Lento estudado, é recomendável a desinfecção e reaeração antes do reaproveitamento do efluente. O emprego da filtração lenta em conjunto com o sistema de leitos cultivados é uma técnica acessível ao produtor rural, tanto do ponto de vista técnico como econômico e pode viabilizar a reutilização da água que seria descartada, podendo esta ser reaproveitada para irrigação localizada ou outras atividades agrícolas.

**Palavras-Chave:** Filtração Lenta, Leitos Cultivados, Reuso da Água, Irrigação Localizada

## SUMMARY

The water quality is an important matter nowadays. This work is an evaluation of Slow Sand Filtration efficiency to treat Constructed Wetlands effluent. The research was performed at FEAGRI (Faculdade de Engenharia Agrícola) - UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). Slow Sand Filter is composed by plastic boxes, construction sand and non-woven synthetic fabrics. Results from tests using filtration rate of  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$ , show reductions of 64% for turbidity, 38% for apparent color, 62%, for total solids, 92,57% for faecal coliforms and 85,61% for total coliforms. At testes with filtration rate of  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{day}$ , reduction was 72% for turbidity, 44% for apparent color, 67% for total solids, 83,87% for faecal coliforms and 82,90% for total coliforms. For reuse, best results are obtained with reaeration and disinfection of the effluent. Slow Sand Filters and Constructed Wetlands are appropriate systems for rural area or small communities and can make possible the water reuse.

**Key-Words:** slow sand filtration, constructed wetlands, water reuse, drip irrigation



## 1. INTRODUÇÃO

A vida em nosso planeta depende essencialmente da água. Mas, dos quase um bilhão e quatrocentos milhões de quilômetros cúbicos existentes, dispõe-se de menos de 1% deste elemento para as atividades e o consumo humanos, estando todo o restante sob a forma de água salgada, geleiras e vapor de água.

Dentre os recursos naturais, a água é hoje um dos mais ameaçados. Ameaçado quanto à escassez e também na sua qualidade, pelas intensas e crescentes agressões ao ambiente.

Uma das causas da escassez de água é a poluição dos recursos hídricos. Esta provoca problemas que tendem a se agravar, como resultado do uso incorreto que o homem faz destes recursos e das atividades que desenvolve nas margens dos rios e na bacia hidrográfica como um todo. As conseqüências negativas da poluição da água podem ser de caráter sanitário, ecológico, social ou econômico. (Mota, 1997)

A reutilização de águas residuárias pode ser considerada como uma medida de controle da poluição, pois, com a adoção de tal prática, evita-se o lançamento de esgotos nos corpos d'água. Essa é uma solução indicada, principalmente, para regiões onde há carência de água, por duas razões principais: garante o suprimento para outros fins, liberando os mananciais para o abastecimento humano e evita a disposição de esgotos em mananciais, os quais, muitas vezes, secam durante grande parte do ano. Mesmo tratados, os esgotos oferecem riscos ao ambiente. O reuso dos mesmos de forma controlada pode significar a proteção de recursos hídricos. (Mota, 1997)

Na área urbana brasileira, onde seria esperada uma maior facilidade de recursos para o tratamento da água, encontram-se várias dificuldades. Na zona rural esta situação se agrava, pois a água gerada por atividades agrícolas ou esgotos domésticos é eliminada no ambiente, visto que muitas vezes não há condições

financeiras ou informação suficiente para tratá-la. Esta água, além da possibilidade de contaminar o solo, não pode ser reutilizada.

O uso de leitos cultivados tem sido proposto como um método de tratamento de baixo custo para efluentes líquidos sanitários e eficiente para pequenas propriedades rurais (Newman et al, 2000) e por sua grande capacidade em reduzir a carga de resíduos sólidos e substâncias tóxicas (Gopal, 1999).

A solução proposta neste trabalho para complementar o tratamento de efluentes de leitos cultivados é a filtração lenta. Esta teria como função reduzir na água residuária os valores de cor, turbidez, coliformes, sólidos suspensos totais e clorofila a, mantendo valores adequados de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, Ferro, Manganês, Fósforo e Nitrogênio, para que se pudesse reutilizar o efluente em questão.

A filtração lenta é um processo que promove a passagem de água por um meio granular, geralmente areia, possibilitando a melhoria de suas características químicas, físicas e bacteriológicas. Este processo apresenta vantagens sobre outras tecnologias, pois não requer uso de produtos químicos, é de simples construção, operação e manutenção. Além disso, não requer mão de obra qualificada para sua operação e apresenta custos geralmente acessíveis a pequenas comunidades, principalmente em países em desenvolvimento (Azevedo Netto e Hespanhol, 1979). Também é um dos processos de tratamento de águas de abastecimento que produz menor quantidade de lodo.

Tendo em vistas que as duas tecnologias, filtração lenta e leitos cultivados, possibilitam a melhora das características físicas, químicas e bacteriológicas do efluente (Gearheart, 1999), seu uso em conjunto pode viabilizar a reutilização da água a ser descartada, podendo esta ser reaproveitada para irrigação localizada ou outros trabalhos na zona rural, ou, em último caso, ser devolvida ao ambiente de forma mais segura.

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso de um filtro lento com mantas não tecidas no tratamento de efluentes de leitões cultivados ("constructed wetlands") e seu comportamento quando submetido a diferentes valores de taxas de filtração, em função da qualidade da água do afluente.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Leitos Cultivados ("Constructed Wetlands"):

“Os leitos cultivados (wetlands) podem ser classificados como um sistema natural de tratamento de águas residuárias, sendo baseados nos alagados, nas várzeas ou “wetlands” naturais que são áreas de solo hidromórfico estando permanentemente inundados ou saturados por águas superficiais ou subterrâneas e onde vegetam várias espécies de plantas que são diretamente dependentes da hidrologia, do meio suporte e dos nutrientes característicos da região onde se encontram (U.S.E.P.A., 1988; Wood e Mcatamney, 1996)

O uso de leitos cultivados plantados com *Phragmites australis* para o tratamento de esgotos é comum no Reino Unido. A estratégia para o uso de leitos plantados para uma maior utilização de água no Reino Unido é revista nos seguintes termos: se o processo a) é apropriado para o ambiente rural, b) oferece desempenho satisfatório e c) encontra critérios para sustentabilidade. (Griffin. e Upton, 1999)

Segundo Newman, Clausen e Neafsev (2000), os leitos cultivados (constructed wetlands) estão ganhando mais atenção para o tratamento de fontes de poluição de água. Embora constructed wetlands estejam sendo utilizadas para tratamento de águas residuárias em climas quentes, seu desempenho em climas frios também tem sido pesquisado.

Kuusemets e Mander (1999) desenvolveram medidas ecotecnológicas para usar ecossistemas naturais e seminaturais para controlar perdas de nutrientes. Três wetlands no sul da Estônia foram estudadas. A eficiência de remoção foi 76 - 84% para BOD5, 39 - 70% para Nitrogênio total, 73 - 83% para fósforo total. Todos os resultados mostram que, comparado a outras estações, o desempenho no inverno não foi reduzido.

Bachand e Horne (2000) construíram seis macrocosmos (aproximadamente 0,13 ha cada) experimentais para estudar processos de transformação de nitrogênio na wetland da Base de Prado, sul da Califórnia, USA. Os dados do primeiro ano do

macrocosmos mostraram que o nitrato foi a espécie nitrogenada dominante, enquanto as porcentagens de nitrogênio inorgânico e transformação de amônia foram menores. Porcentagens de tendências e transformações do nitrogênio dentro dos macrocosmos foram similares àquelas encontradas dentro da wetland adjacente. Com base nas proporções calculadas e na ausência de perdas, a remoção de nitrato foi atribuída à denitrificação.

Por fim, segundo Gopal (1999), wetlands têm sido consideradas cada vez mais importantes para o tratamento de águas residuárias por causa da habilidade de muitas delas em absorver grandes quantidades de nutrientes e uma variedade de substâncias tóxicas. O autor realça os processos químicos, físicos e biológicos que contribuem para o melhoramento da qualidade da água, e a distinção entre wetlands naturais e construídas. É sugerido que enquanto as possibilidades para usar wetlands baseadas em espécies nativas para pequenas comunidades são exploradas, dever-se-ia dar maior ênfase na restauração de wetlands degradadas, especialmente aquelas que podem ajudar a checar as fontes poluidoras.

Decamp e Warren (2000) conduziram estudos comparativos para determinar a eficiência na remoção de *Escherichia coli* em vários modelos de leitos cultivados (constructed wetlands), empregando fluxo de superfície horizontal através da zona de macrófitas emergentes (RZM)

## **3.2. Filtros Lentos ("Slow Sand Filters"):**

### **3.2.1. Histórico da Filtração Lenta**

Desde as civilizações mais remotas, se observa a existência de uma preocupação constante do homem em relação à qualidade da água e à transmissão de doenças. Águas turvas, de superfície, eram utilizadas para bebida após filtração em aparelhos domésticos de porcelana porosa ou sedimentação em potes de barro, pelos antigos egípcios e pelos japoneses. Outro método de purificação empregado na antigüidade, baseava-se no transporte por capilaridade, de uma vasilha a outra, empregando tiras de tecido. O objetivo primordial de tais práticas seria,

provavelmente, o de obter água com boas características estéticas, mas é possível que já então relacionassem o aspecto da água com a transmissão de doenças, relacionamento esse que ainda hoje predomina nos meios menos cultos: o homem comum prefere a água da fonte, por ser cristalina e rejeita a água dos rios por ser turva, embora, muito freqüentemente, a água cristalina, da fonte, seja transmissora de germes patogênicos e esta última não. (Branco, 1978)

Segundo Costa (1980) e Hespanhol (1969), somente em 1828 os filtros de areia foram usados pela primeira vez para abastecimento público, construídos para abastecer Londres. Destes esperava-se apenas que reduzissem a turbidez da água através de mecanismos físicos de retenção de partículas.

Em 1980, no Reino Unido, a filtração lenta era o processo utilizado em cerca de 27,6 % do total de água tratada, e, além disso, em outras regiões da Inglaterra mais de 70% da água tratada estava envolvida com a filtração lenta como processo secundário de tratamento. (Mbwette e Graham, 1987)

Segundo Bolmann (1987), entre 1914 e 1918 o interesse pela filtração lenta diminuiu sensivelmente devido ao crescimento da utilização da filtração rápida, que possibilitou a aplicação de taxas mais elevadas e conseqüentemente a produção de um volume maior de água tratada por unidade de área. Pequenas comunidades começaram a optar pela filtração rápida na tentativa de demonstrar desenvolvimento urbano.

A partir da década de 50, porém, a filtração lenta voltou a chamar a atenção devido à intensificação dos estudos em tratamento de águas nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, os quais buscavam uma aplicação racional de uma tecnologia simples e eficiente que promovesse o bem estar público. (Valenzuela, 1991)

O uso da filtração lenta persiste nos dias de hoje, principalmente em Londres, onde 80% do total de água que abastece a cidade é tratado através deste método. (Vareche, 1989)

### 3.2.2. Filtros Lentos e sua eficiência na remoção de microrganismos:

Descobriu-se que a filtração lenta poderia auxiliar na remoção de bactérias em 1892, quando a cidade de Altona, na Alemanha, que utilizava tais filtros, não foi atingida por uma epidemia de cólera que dizimou outras populações que utilizavam tratamento de água por sedimentação.(Huisman, 1982).

Segundo Di Bernardo (1999) , o uso de baixas taxas de filtração faz com que a água permaneça mais tempo sobre o meio filtrante e no seu interior, o que favorece uma intensa atividade biológica no filtro lento, atribuindo ao mesmo uma grande vantagem: a elevada eficiência na remoção de bactérias, vírus e cistos de *Giardia*. Contudo, o desempenho dos filtros lentos na remoção de microrganismos depende, além da taxa de filtração, da temperatura, da espessura do meio filtrante, do tamanho dos grãos de areia, da maturidade microbiológica do meio filtrante , entre outros.

Experiências visando a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração lenta obtiveram eficiência de 99,9%. Observando-se que tais oocistos são resistentes à desinfecção pelo cloro, foi comprovada a importância e eficiência da filtração lenta na remoção de microrganismos. (Timms, Slade e Fricker, 1995)

Sanchez, Latorre e Galvis (1999) mostraram que depois da limpeza dos filtros piloto por raspagem operando a uma taxa de filtração de 3,6 m/dia, estes apresentaram períodos de maturação em *E. coli* de 120 a 142 horas e turbidez com período de maturação de 120 a 160 horas. Já os filtros piloto com limpeza por arado, operando com a mesma taxa de filtração, registraram períodos menores de maturação: 116 a 86 horas em *E. coli* e 124 a 75 horas em turbidez.

Murtha E Heller (1999), investigaram o desempenho de filtros lentos em relação à profundidade do leito filtrante e indicaram a possibilidade de redução da espessura útil do leito filtrante até um valor limite de 40 cm, levando em consideração a eficiente redução dos indicadores básicos de qualidades da água.

A espessura da camada de areia também pode ser diminuída quando são empregadas mantas sintéticas não tecidas no topo da camada de areia. (Paterniani, 1991).

Segundo Di Bernardo (1993), as mantas não tecidas possuem maior capacidade de retenção de impurezas do que a areia aumentando a duração da carreira de filtração e possibilitando o emprego de taxas de filtração mais altas e redução da espessura da camada de areia, sem prejuízo da qualidade do efluente, reduzindo, assim, os custos operacionais das estações.

O experimento realizado por Souza, Araújo e Catunda (1999) sobre tratamento de esgoto decantado, através de um filtro lento de areia, em escala piloto e sob condições anaeróbias, visou sua utilização para irrigação de culturas regionais como milho e algodão. O desempenho do filtro quanto a remoção de matéria orgânica, medida em DQO, foi de 75% e de sólidos suspensos voláteis foi de 65%. Esses resultados se aproximam daqueles obtidos em digestores anaeróbios de alta taxa. A remoção de microrganismos no filtro lento foi de 99,9%, superior à obtida em digestores anaeróbios tipo UASB que é de 90%, quando operado com tempo de detenção hidráulico de 17 horas. (Souza, Araújo e Catunda, 1999)

Yordanov, Melvin, Law et alii (1999) construíram uma planta de tratamento piloto para água potável, consistindo de uma unidade de ozonação seguida de filtros lentos. O ozônio foi usado para quebrar moléculas de substâncias húmicas para substâncias orgânicas menores, provendo mais material bioutilizável na água. A filtração lenta, aplicada depois da ozonação, remove um pouco desse material ao custo de um entupimento mais rápido dos filtros, sendo que a biomassa de filtros ozonados depois de entupidos foi significativamente grande comparada aos filtros não ozonados. Resultados revelaram um crescimento na biomassa heterotrófica, mas nenhuma mudança significativa na biomassa de comunidades autotróficas, em filtros lentos recebendo água pré-ozonada.

Com base nos estudos descritos acima, acredita-se que o uso dos dois sistemas em conjunto seja viável, produzindo como resultado esperado o aproveitamento da água com menos riscos de contaminação por microrganismos.

### **3.3. Reuso de água**

A implementação bem sucedida de um projeto de reuso de água deve depender da consideração de múltiplos fatores, incluindo saúde pública, aceitação popular, quantidade e qualidade de água requeridas, suprimento confiável e variabilidade de demanda e aspectos econômicos. A água recuperada deveria ser tratada como uma "commodity", com qualidade e métodos de tratamento condizentes com o uso desejado. Em um ambiente urbano, vários níveis de qualidade da água correspondem a diferentes usos, incluindo água para beber, para higiene pessoal, para irrigação de culturas e para limpeza urbana e industrial. O transporte e a distribuição da água recuperada têm uma influência significativa na viabilidade econômica, especialmente em comunidades com densidade populacional de baixa a moderada. A tendência é de que fatores complexos de economia e riscos para a saúde pública tenham um papel principal no processo de tomadas de decisões. (Hermanowicz e Asano, 1999)

De acordo com Bahri (1999), o gerenciamento de águas residuárias deveria ser integrado ao ciclo global da água, sendo também um componente integral no gerenciamento de recursos de água.

#### **3.3.1. Reuso de água na agricultura**

O reuso de águas residuárias na agricultura é um elemento de desenvolvimento e gerenciamento dos recursos de água que fornece opções inovadoras e alternativas para a agricultura. O reuso de água recuperada para irrigação aumenta a produtividade agrícola: fornece água e nutrientes e melhora o rendimento das colheitas. Entretanto, é necessário que haja proteção à saúde pública, tecnologias apropriadas de tratamento de águas residuárias e tratamento confiável, gerenciamento de águas e aceitação e participação pública. Também deve ser viável economicamente. (Bahri, 1999)

A produção agrícola requer um nível de tratamento de águas residuárias, e, conseqüentemente, uma dada qualidade de água. O reuso de águas residuárias na

agricultura, apesar de aceito e praticado em vários locais, ainda traz algumas questões e pontos de vista controversos. A concentração de sais e microrganismos em águas residuárias limitam as opções de usos; as águas residuárias podem, em alguns casos, ter uma alta concentração salina, o que ocasiona a salinização do solo e riscos de alcalinização, se usadas para irrigação. A composição microbiológica das águas residuárias impõe restrições às colheitas e aos usuários. Isto significa que nem todos os efluentes podem ser usados para finalidades agrícolas. (Bahri, 1999)

Os autores Bonomo, Nurizzo e Rolle, (1999) referem-se à recuperação de águas residuárias na agricultura como um tópico chave na Itália, especialmente nas regiões do sul.

O uso de águas residuárias para irrigação na Itália é regulado nos moldes do Ato de Proteção à água de 1976, sendo considerado um processo de tratamento extensivo. A proposta é muito severa de um ponto de vista higiênico, especialmente se considerarmos que as águas de superfície italianas geralmente usadas para irrigação demonstram uma qualidade microbiológica ruim (geralmente entre  $10^4$  e  $10^5$  para coliformes totais) e os padrões de águas para recreação permitem 2.000 NMP/100 mL (coliformes totais) e 100 NMP/100 mL (coliformes fecais). Alguns outros governos regionais (por exemplo, Apulia e Sicília), usando os poderes concedidos pelo ato de Proteção à água de 1976, prepararam e publicaram padrões regionais. (Bonomo, Nurizzo e Rolle, 1999)

Seria aconselhável para uma nova regulamentação nacional nesta área que se considerasse uma proposta mais geral, para levar em conta vários parâmetros que assegurem o nível básico de qualidade e dêem a governos locais a tarefa de estabelecer outros parâmetros de controle ou diferentes padrões, com referência à situação local. (Bonomo, Nurizzo e Rolle, 1999)

Neste caminho, uma definição mais precisa de classes de qualidade poderia ser interessante: de fato o reuso de águas residuárias em irrigação tem diferentes impactos dependendo dos sistemas de irrigação e dos diferentes tipos de culturas. Propostas similares foram discutidas e um exemplo desta tendência é uma proposta baseada em classes de qualidade: em cada classe de parâmetros microbiológicos, de controle ou estéticos e de irrigação, aspectos relacionados foram considerados.

Esta escolha certamente permitiria uma maior precisão e uma classificação fundamentada de usos de água recuperada, baseada nas facilidades de distribuição de água (irrigação localizada, de superfície) e no tipo de cultura a se irrigada (vegetais consumidos crus, frutas com casca, vegetais para processar, entre outros), mas o risco de usos não apropriados da água recuperada podem ser altos. (Bonomo, Nurizzo e Rolle, 1999)

Ainda segundo os autores, para realmente implementar o reuso de águas residuárias na agricultura, os aspectos econômicos também devem ser considerados: padrões de qualidade extremamente severos conduziram a altos custos, injustificados para a água recuperada. Por exemplo, não parece ser de interesse primário implementar padrões específicos para elementos com concentrações usualmente muito baixas em efluentes tratados. Este não é o caso de Boro: uma das mais importantes culturas no sul da Itália, o limão, é boro-sensível. Concentrações de boro em efluentes tratados usualmente não são verificadas, mas uma pesquisa recente com 10 plantas demonstrou que em muitas amostras foram encontradas concentrações tão altas quanto 1,5 mg B/L.

O reuso de águas residuárias na agricultura deve também superar vários desafios: deve-se estabelecer um programa de controle de fontes para proteção da qualidade da água, desenvolver uma metodologia para fixar limites microbiológicos e químicos, desenvolver tecnologias inovadoras (especialmente processos com economia de energia), além de um melhor planejamento e gerenciamento de operações de reuso. (Bahri, 1999)

Isto significa que deve melhorar o modo como são considerados os fatores técnicos, socio-econômicos, regulatórios e ambientais e que também é necessário um melhor cenário organizacional e institucional. Os aspectos técnicos e administrativos necessitam também de mais estudos, juntamente com pesquisas empíricas para aplicações específicas. Códigos de boas práticas agrícolas poderiam auxiliar produtores rurais na reutilização de águas recuperadas. Educação, informação e treinamento de produtores rurais podem também representar um importante papel na promoção destas práticas, pretendendo alcançar altas produções agrícolas sem impactos adversos no ambiente. (Bahri, 1999)

## 4. MATERIAL E METODOS

### 4.1. Local do Experimento

Os ensaios foram realizados na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde estão instalados um sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico por leitos cultivados e um sistema de filtração lenta, objeto deste estudo.

### 4.2. Tratamento anterior à Filtração Lenta

O esgoto doméstico da Faculdade é composto por uma mistura de dejetos domésticos e sanitários e de água residuária dos laboratórios e da oficina mecânica. Este esgoto passa por um tanque séptico de três compartimentos em série modificado (reatores anaeróbios compartimentados) e por leitos cultivados com macrófitas (sistema aquático natural) (Valentim, 1999). Em seguida, o efluente é conduzido ao Filtro Lento avaliado no presente trabalho. Os leitos cultivados podem ser vistos nas Figuras 1 e 2.

### 4.3. Sistema de Filtração Lenta

O Filtro Lento é constituído por um tanque cilíndrico de plástico PEMD rotomoldado com altura útil de 1200 mm, diâmetro igual a 600 mm e fundo cônico contendo uma grade metálica, que forma o sistema de drenagem. O esquema da instalação piloto é mostrado na figura 4 e fotos são mostradas nas Figuras 2 e 3. O sistema de coleta do efluente do Filtro Lento é constituído por um tubo de PVC de  $\frac{1}{2}$ ", o qual tem origem junto ao sistema de drenagem e segue até 10 cm acima da camada de areia, evitando assim a ocorrência de pressão negativa e,

consequentemente, acúmulo de ar no interior do meio filtrante, além de garantir a presença constante de água no interior do Filtro. O sistema de coleta final pode ser visualizado nas figuras 3 e 4.

Embora o funcionamento do filtro não tenha sido contínuo, visto que ocorria falta de efluente dos leitos cultivados durante a noite, finais de semana e feriados, o nível de água no interior do filtro foi mantido sempre acima do leito filtrante, para evitar possíveis alterações no schmutzdeck<sup>1</sup>.

O meio filtrante é constituído por uma camada de areia de 30 cm espessura e por mantas sintéticas não tecidas instaladas no topo desta e também na camada suporte.

O efluente dos leitos cultivados, que é o afluente do sistema de filtração lenta, é conduzido, através de uma calha, a uma caixa de controle de vazão, e, em seguida, através de uma mangueira plástica preta, até o interior do Filtro Lento. Em virtude da alta e rápida proliferação de algas, visto que o meio é propício ao seu desenvolvimento, todo o sistema, incluindo mangueiras foi tampado ou envolvido com plástico preto.

O acompanhamento da evolução da perda de carga devido à retenção de impurezas pelo filtro foi feito através da medição da altura do nível de água no interior do mesmo. Para isso, foi colocada na parede externa do Filtro Lento uma escala feita em papel milimetrado. De acordo com esta escala, a carga hidráulica disponível no filtro é de 680 mm.

---

<sup>1</sup> Schmutzdeck é uma camada presente no topo do leito filtrante do Filtro Lento, composta por algas, matéria orgânica e vários microrganismos. Esta camada é formada ao longo da carreira de filtração e auxilia na capacidade de filtração.

Figura 1: Fotografia dos Leitos Cultivados

Figura 2: Fotografia do Filtro Lento com os Leitos Cultivados ao fundo.

Figura 3: Fotografia do Filtro Lento

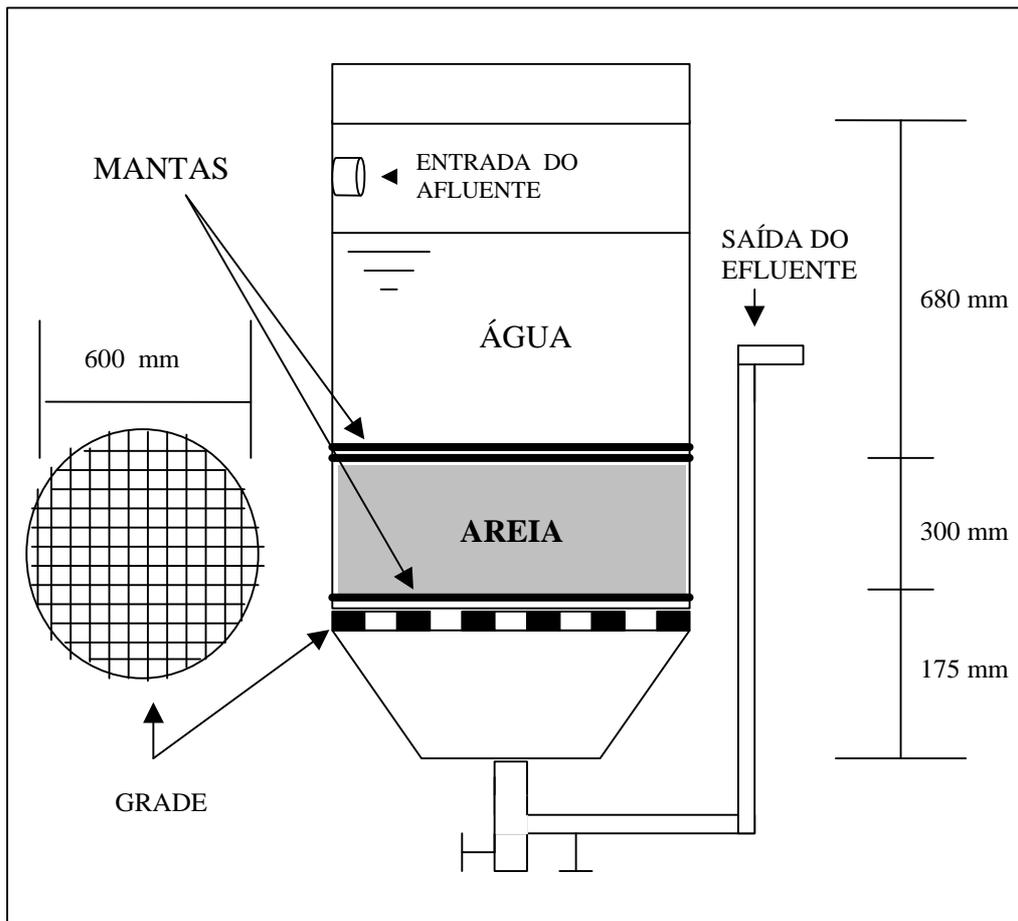


Figura 4: Desenho esquemático do Filtro Lento

#### 4.4. Material Filtrante Utilizado

##### 4.4.1. Areia

A areia utilizada no meio filtrante foi areia grossa, utilizada em construção civil, passada por peneira de 1 mm.

Antes de ser colocada no Filtro, a areia foi lavada em uma unidade simples, constituída de um galão de plástico de 50L. Neste procedimento, água para lavagem entra pela parte inferior e é distribuída por um sistema de canalizações perfuradas de PVC de ½ polegada. Sobre essas canalizações, uma camada suporte composta de brita 1 auxilia a distribuição da água para lavagem. A unidade utilizada e o processo de lavagem da areia podem ser observados nas figuras 5,6,7 e 8.







A aplicação da água para lavagem é feita por meio de uma mangueira conectada a uma torneira, que promove a entrada da água no sentido ascensional e a fluidificação dos grãos de areia. Neste trabalho, como a água chegava com alta pressão, não foi necessária a utilização de bomba centrífuga.

A areia foi colocada dentro da unidade em pequenas quantidades (cerca de 1Kg), com o devido cuidado para que os grãos de areia mais finos não fossem carreados juntamente com a água suja, pois isso reduziria o coeficiente de desuniformidade (CD), alterando as características da areia.

Após o processo de lavagem, a areia limpa foi distribuída em bandejas de alumínio e levada à estufa para secagem. O período de secagem da areia foi de 24 horas sob temperatura de 105°C.

Os resultados obtidos nos ensaios granulométricos da areia juntamente com as características granulométricas recomendadas por Di Bernardo (1993) para a areia empregada na filtração lenta são apresentados na tabela 1.

A areia grossa passada pela peneira com abertura de 1mm apresentou características bastante adequadas para ser usada na filtração lenta, apresentando valores dentro do limite recomendado. (Di Bernardo & Escobar, 1996).

Tabela 1: Características granulométricas obtidas para a areia grossa de construção civil e características recomendadas para a areia usualmente empregada em filtros lentos.

Tamanho Efetivo (mm)	Coefficiente de Desuniformidade (CD)	Tamanho dos Grãos (mm)	Referência
0,2	2,4	0,053 a 1,000	Ensaio realizado
0,15 a 0,3	1,5 a 3,0	0,104 a 1,0	DI BERNARDO (1993)

As curvas de distribuição granulométrica da areia grossa de construção, da areia grossa passada pela peneira de 1mm e de uma areia usualmente empregada na filtração lenta são mostradas na Figura 9 .

Areia adequada para Filtração Lenta

Areia Grossa de construção civil

Areia Grossa passada pela peneira de 1 mm

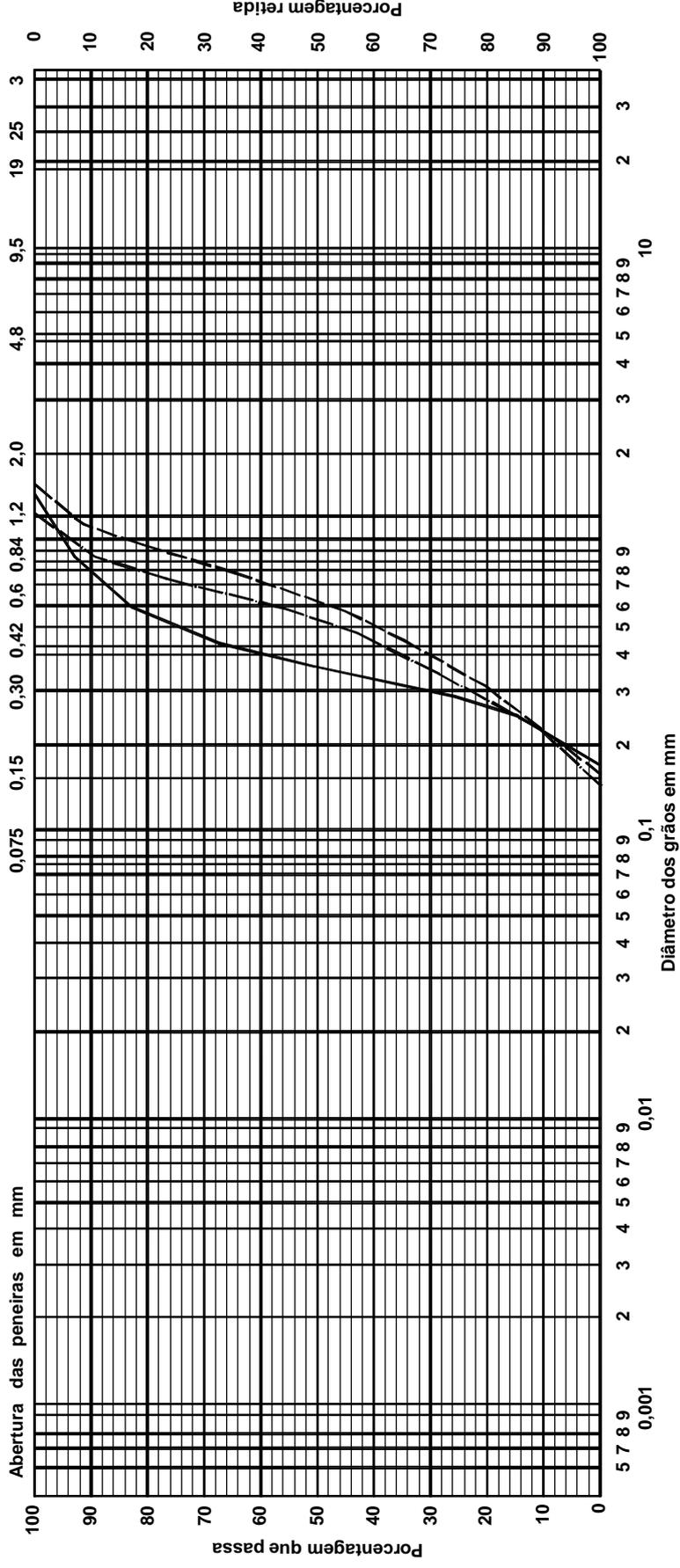


Figura 9: Curva de Distribuição Granulométrica das Areias.



#### **4.4.2. Mantas sintéticas não tecidas**

Como material filtrante, além da areia, foram utilizadas mantas sintéticas não tecidas da marca AMOCO-Propex do Brasil, modelo 4510, cujas características encontram-se na Tabela 2. As mantas não tecidas foram utilizadas no topo da camada de areia e na camada suporte do Filtro Lento.

As mantas sintéticas não tecidas foram selecionadas com base em estudo feito por Loes (1999). O autor caracterizou diferentes tipos de não tecidos através da determinação de suas principais propriedades físicas, tais como: porosidade, massa específica, superfície específica, espessura, entre outros.

Dos nove tipos de não tecidos estudados pelo autor, foram selecionados dois para serem utilizados na pesquisa, denominados M1 e M2, com base nos valores de porosidade e superfície específica. Estes parâmetros são de extrema importância pois estão relacionados, respectivamente, com o potencial da manta de reter impurezas presentes na água e com o mecanismo de adsorção. Segundo Paterniani (1991) a combinação desses parâmetros determina qual manta melhor se adapta às condições de filtração, como taxa de filtração, qualidade da água e sistema de filtração utilizado.

Os altos valores de porosidade são desejáveis pois proporcionam pequena perda de carga no sistema de filtração, aumentando a duração das carreiras de filtração ou possibilitando a adoção de taxas de filtração mais elevadas.

Na Figura 10 é mostrado o esquema de fixação das mantas no topo da camada de areia do Filtro Lento. As mantas do topo da camada de areia foram recortadas em forma circular com diâmetros ligeiramente maiores que o diâmetro dos filtros e foram fixadas através de arcos de polietileno com diâmetro ligeiramente menor que o diâmetro interno das unidades. Estes arcos pressionam as mantas contra a parede interna dos filtros, evitando caminhos preferenciais da água nesta região.

Já a manta da camada suporte foi instalada do mesmo modo descrito para as mantas instaladas no topo do leito filtrante, porém o arco de polietileno foi colocado de forma que se encaixasse na grade metálica constituinte do sistema de drenagem, permitindo assim uma melhor fixação da manta.

Após cada ensaio, as mantas do topo da areia eram retiradas e lavadas. Este processo pode ser observado nas Figuras 11, 12 e 13.

Tabela 2: Propriedades e Composição das mantas sintéticas não tecidas.

Propriedades	Mantas	
	M 1	M 2
Porosidade	95.70%	62.84%
Massa Específica	0.1291 g/cm <sup>3</sup>	0.1328 g/cm <sup>3</sup>
Superfície Específica	2.530 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	26.936 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Gramatura	380 g/m <sup>2</sup>	450 g/m <sup>2</sup>
Diâmetro médio das Fibras	67,950 ?m	55,179 ?m
Composição	100% Polipropileno 33,0 Dtex	100% Poliéster 33,0 Dtex

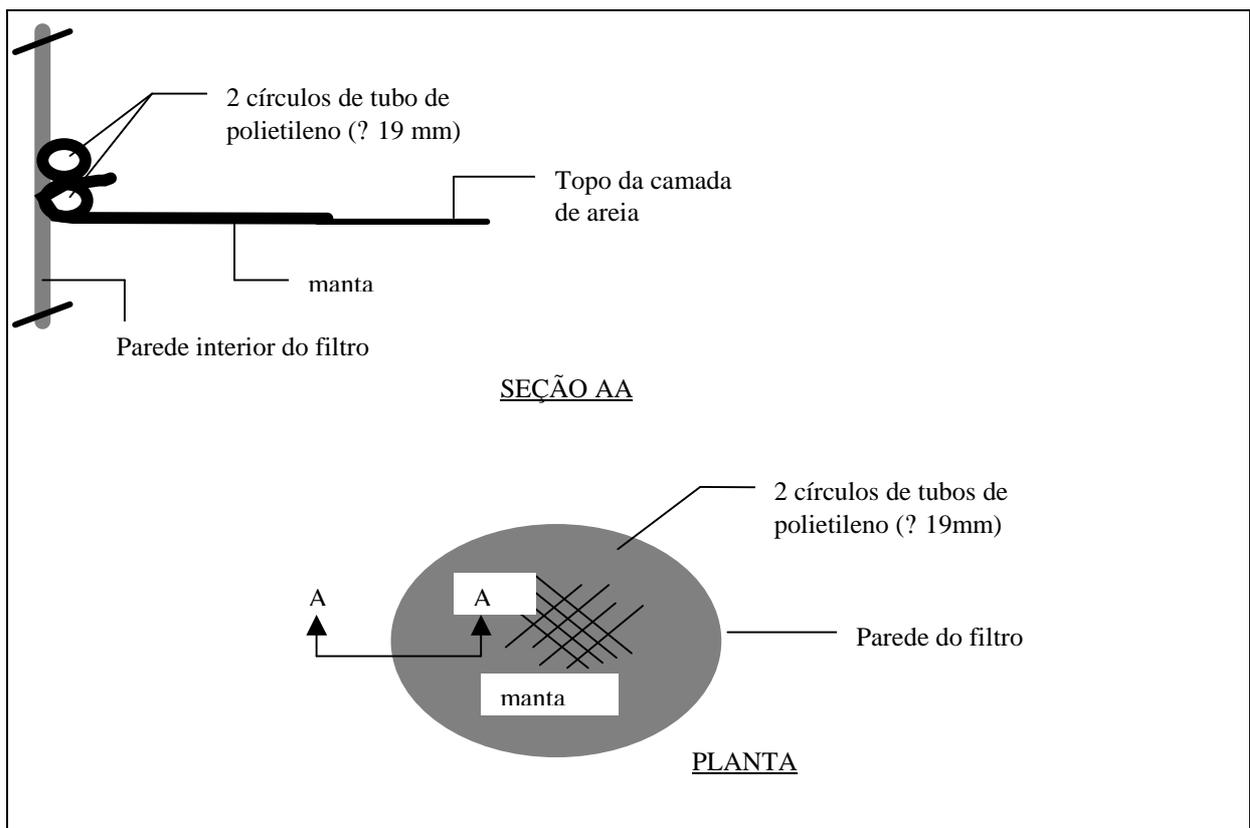


Figura 10: Esquema ilustrativo da fixação das mantas no Filtro Lento.



Figura 11: Mantas não tecidas (M1 e M2) após um ensaio com o Filtro Lento



Figura 12: Lavagem de uma das mantas (M1)



Figura 13: Mantas sintéticas não tecidas limpas

#### 4.5. Controle de Vazão

A vazão afluyente para o filtro foi regulada através da variação da altura de um orifício ( $\phi = 4 \text{ mm}$ ) de descarga livre localizado em um tubo de PVC, que se encontrava dentro de uma caixa de distribuição. Na figura 14 é apresentado o esquema da caixa de distribuição e na Figura 15 uma fotografia da mesma.

As respectivas alturas do orifício em relação ao nível de água da caixa (h) para cada uma das duas taxas de filtração ensaiadas, de  $3\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$  e  $6\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ , foram calculadas através da seguinte fórmula:

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2gh} \quad \text{onde:}$$

Q= vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$C_d$ = Coeficiente de descarga =0,82

A= área do orifício ( $\text{m}^2$ )

g= aceleração da gravidade ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

h= altura do orifício em relação ao nível de água dentro da caixa de distribuição (cm).

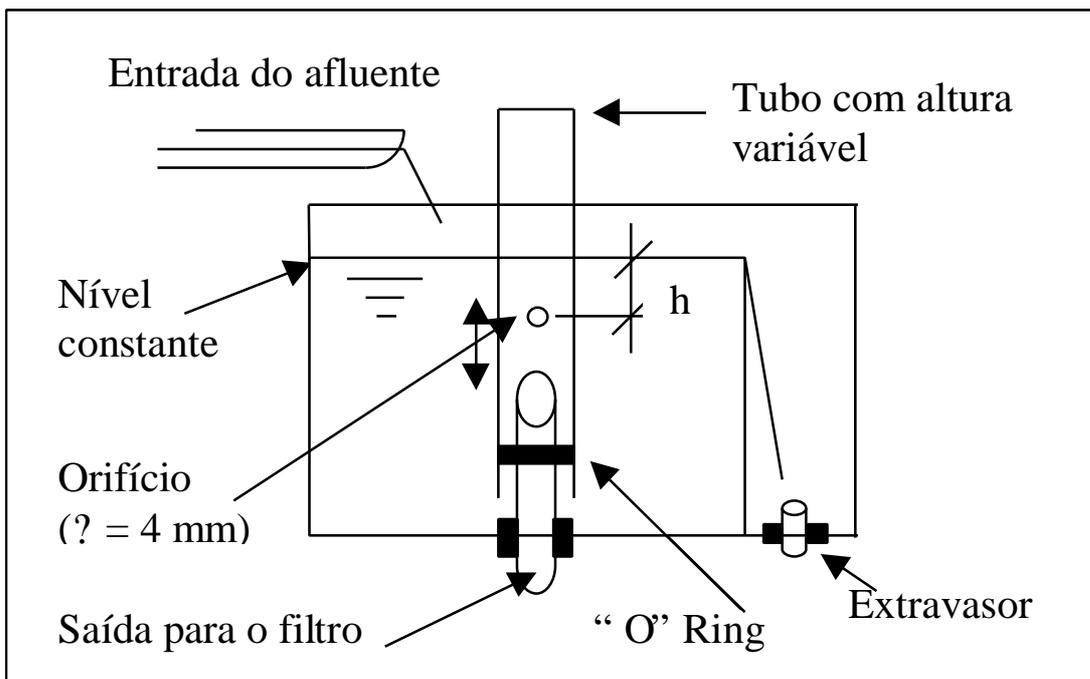


Figura 14: Desenho esquemático em corte da caixa de controle de vazão.

Figura 15: Fotografia da caixa de controle de vazão do afluente do Filtro Lento

#### 4.6. Programa dos Ensaio

O Filtro Lento foi operado com duas diferentes taxas de filtração (3 e 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia). Para cada taxa foram realizados três ensaios de repetição. A taxa de filtração foi monitorada através do método volumétrico e a evolução da perda de carga, devido a retenção de impurezas pelo Filtro, através da altura de água no interior do mesmo.

A eficiência do filtro lento foi avaliada através da análise de vários parâmetros de controle, medidos de acordo com as Tabelas 3 e 4, analisados em amostras de água extraídas do afluente e efluente do mesmo.

Tabela 3: Freqüência de análise do afluente e efluente do Filtro Lento

<b>Parâmetros</b>	<b>Freqüência das análises</b>
Turbidez	2 vezes por dia
Cor aparente	2 vezes por dia
Sólidos Suspensos totais	1 vez por dia
Coliformes totais	1 vez por semana (1)
<i>E. coli</i>	1 vez por semana (1)
Clorofila a	2 vezes por ensaio
Ferro	1 vezes por semana (2)
Manganês	1 vezes por semana (2)
Oxigênio dissolvido	1 vez por dia
pH	1 vez por dia
Temperatura	2 vezes por dia
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	1 vez por semana (3)
Demanda química de oxigênio (DQO)	1 vez por dia (3)
Fósforo total	1 vez por semana (3)
Nitrogênio total	1 vez por semana (3)
Perda de Carga	2 vezes por dia
Controle da taxa de Filtração	2 vezes por dia
Desinfecção pelo método SODIS	3 vezes por ensaio (4)

Obs: Os números 1, 2, 3 e 4 estão descritos nos parágrafos a seguir

- (1) Os testes de Coliformes totais e *E.coli*, inicialmente, inicialmente eram diários, e, ao longo do trabalho, tornaram-se semanais.
- (2) Os testes de Ferro e Manganês, durante o 1º e 2º ensaios com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, foram realizados duas vezes por semana. Após estes ensaios,

verificou-se que seria desnecessário um acompanhamento intenso, visto que havia pouca variação do afluente para o efluente e que ambos a concentração destes elementos era baixa.

(3) Os testes de DBO, DQO, fósforo e nitrogênio não foram previstos inicialmente e sua necessidade foi percebida ao longo do trabalho. Os testes de DBO foram realizados no 3º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e nos ensaios com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Os testes de DQO foram realizados no 3º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e no 1º e 3º ensaios com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Já as análises de fósforo e nitrogênio foram realizadas no 3º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e no 2º e 3º ensaios com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

(4) Testes realizados apenas no 3º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Tabela 4: Metodologia e aparelhos utilizados nas análises

<b>Análises</b>	<b>Métodos e Aparelhos Utilizados</b>
Turbidez	Nefelometria, utilizando-se aparelho TURBIDIMETER 2100NA - HACH, conforme descrito em HACH (1996).
Cor Aparente	Espectrofotometria, utilizando-se aparelho TURBIDIMETER 2100NA - HACH, conforme descrito em HACH (1996).
pH	Leitura em pHmetro Digimed DM 20, segundo Standard Methods (APHA, 1995),
Temperatura	Leitura em termômetro de mercúrio
Oxigênio Dissolvido	Utilização do aparelho YSI 58 – sonda YSI modelo 5730
Ferro Total	Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho DR 2010 – HACH, conforme descrito em HACH (1996).
Manganês	Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho DR 2010 – HACH, conforme descrito em HACH (1996).
Sólidos Suspensos Totais	Método gravimétrico, com filtração em membrana GF 52-C, ? 47 mm, segundo Standard Methods (APHA, 1995).
Coliformes Totais e Fecais	Método do substrato definido, utilizando-se reagente COLILERT, segundo Standard Methods (APHA, 1995),
Clorofila a	Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho HACH modelo DR/4000 U, conforme descrito por Wood (1995).
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	Leitura após 5 dias, no aparelho DBOTrak (HACH), conforme descrito em HACH (1997).
Demanda química de oxigênio (DQO)	Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho DR 2010 – HACH, conforme descrito em HACH (1996).
Fósforo total e Nitrogênio total	Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho DR 2010 – HACH, conforme descrito em HACH (1996).
Desinfecção por luz solar	Método SODIS (SODIS, 2001)

#### 4.7. Testes de desinfecção por luz solar pelo método SODIS

O método SODIS (Solar Water Disinfection) é uma tecnologia simples usada para melhorar a qualidade microbiológica da água. O processo utiliza a radiação solar para destruir microrganismos patogênicos veiculados pela água. (SODIS, 2001)

O método é utilizado na Colômbia, Bolívia, Burkina Faso, Togo, Indonésia, Tailândia e China, com aceitação de 84% dos usuários. (SODIS, 2001)

SODIS é ideal para desinfetar pequenas quantidades de água. Deve-se preencher garrafas de plástico transparente de 2 a 3L com a água contaminada e deixá-las expostas à luz do sol na posição horizontal. A exposição deve ser de 6 horas se o céu estiver brilhante ou até 50% nublado, ou de 2 dias consecutivos se o céu estiver 100% nublado ou se a temperatura da água for inferior a 42°C. Durante dias de chuva contínua, o método não tem desempenho satisfatório. (SODIS, 2001) A eficiência do processo pode ser aumentada usando-se garrafas plásticas metade pintadas de preto, com a face pintada voltada para baixo, ou, também colocando-se as mesmas sobre uma placa de zinco. (SODIS, 2001)

A luz do sol tem poder de desinfecção sobre a água através de dois mecanismos: radiação no espectro UVA (comprimento de onda entre 320 e 400 nm) e temperatura aumentada da água. (SODIS, 2001)

O método não produz água estéril, assim como a água potável não tem que ser estéril, mas inativa bactérias, vírus e fungos. (SODIS, 2001)

A inativação de esporos e cistos de protozoários e helmintos ainda não foi avaliada. Entretanto, cistos de ameba, por exemplo, morrem a 50°C. Se a água contaminada atingir 50°C durante uma hora, haverá a destruição dos cistos. (SODIS, 2001)

As limitações do método incluem a exigência de água relativamente limpa (turbidez menor que 30 NTU) e de condições climáticas adequadas, além de não mudar a qualidade química da água e não ser prático para tratar grandes volumes de água. (SODIS, 2001)

Neste trabalho, foram utilizadas duas garrafas PET (polyethylene terephthalate), que é o material mais recomendado para o processo. As garrafas

foram pintadas de preto na parte que ficaria voltada para baixo na posição horizontal. Ambas tinham capacidade para 2L, sendo que uma foi preenchida com o afluente e outra com o efluente do Filtro Lento. Após o tempo estabelecido, as amostras foram levadas ao laboratório e submetidas a análises de turbidez, cor, coliformes totais e *E. coli*.

#### 4.8. Exames biológicos

Ao longo do trabalho, foram realizadas análises microscópicas do afluente, efluente e schmutzdeck do Filtro Lento, por meio de um axioscópico 100 Zeiss.

Também foi realizada a identificação de larvas de insetos e insetos encontrados no filtro, através de exame a olho nu e em lupa, com o auxílio do Prof. Dr. Angelo Pires do Prado, do Departamento de Parasitologia do Instituto de Biologia da UNICAMP.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados na forma de artigos (Artigos Científicos I e II) que foram enviados a revistas especializadas. Estes demonstram que, de um modo geral, o Filtro Lento em estudo foi eficiente no tratamento dos efluentes de leitões cultivados, o que se pode concluir através das altas porcentagens de remoção obtidas, mostradas na Figura 16.

O ARTIGO CIENTÍFICO I tem enfoque no desempenho do Filtro Lento submetido ao recebimento de um afluente diferente do usualmente empregado neste tipo de sistema. A maioria dos artigos científicos referentes à Filtração Lenta citam a utilização de água de reservatórios ou de lagos e raramente são descritos outros tipos de afluentes. O Filtro Lento apresentou uma alta porcentagem de remoção para os parâmetros analisados. Ainda neste artigo, pode-se reafirmar que a substituição de pedregulho por mantas não tecidas na camada suporte representa economia de material e proporciona ao filtro uma maior carga hidráulica e, portanto, maior duração da carreira de filtração, como proposto por Paterniani (1991) e Ferraz (2001).

No ARTIGO CIENTÍFICO II, discute-se a viabilidade do uso da Filtração Lenta para tratamento de efluentes a serem reutilizados em irrigação localizada. Como este artigo tem seu enfoque na reutilização, observa-se que para alguns parâmetros (coliformes totais e fecais), a porcentagem de remoção (apesar de alta) não foi suficiente para a finalidade citada. Também é possível observar que o parâmetro oxigênio dissolvido, já no afluente, apresentava valores baixos, que se mantiveram no efluente em virtude da configuração do Filtro, que não privilegia a reaeração. Portanto, apesar do bom desempenho do Filtro Lento, recomenda-se que o efluente passe por processos de reaeração e desinfecção antes de sua reutilização.

Estão apresentados em apêndice todos os resultados da pesquisa, na forma de gráficos e tabela.

### 5.1. Comparação dos resultados obtidos com diferentes taxas de filtração

Através de análises dos valores médios e porcentagem de diminuição destes valores do afluente para o efluente, é possível dizer que a remoção foi maior em ensaios com taxa de filtração de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  para os parâmetros cor, turbidez e sólidos suspensos totais. Para redução de coliformes totais e fecais, os ensaios com taxa de filtração de  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  foram mais eficientes.

Esta comparação pode ser observada através do gráfico da figura 16.

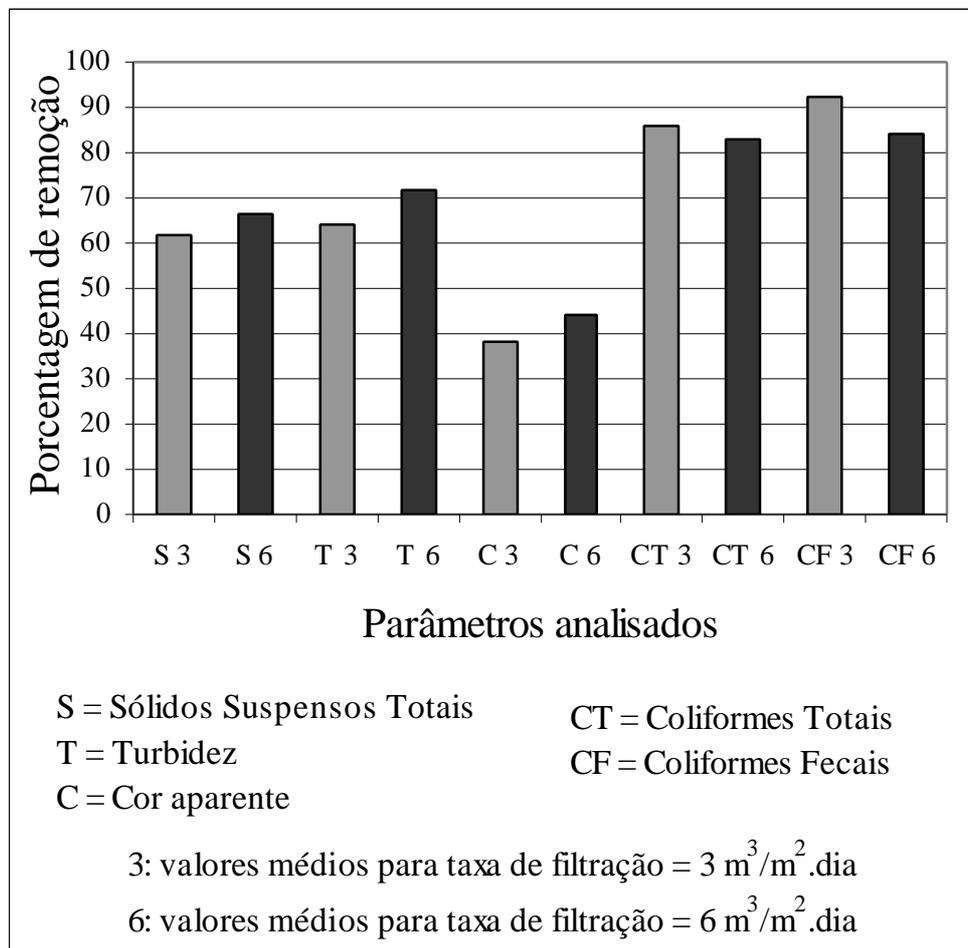


Figura 16: Comparação entre as porcentagens de remoção obtidas em ensaios com taxas de filtração de  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ .

## 5.2. Testes de Desinfecção do efluente do Filtro Lento através do método SODIS

Tabela 5: Resultados dos testes de desinfecção pelo método SODIS:

<b>Primeiro Teste (Tempo de exposição de 4 h, céu sem nuvens)</b>			
		Afluente	Efluente
Turbidez (NTU)		4,20	2,45
Cor (UC)		100	79
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Antes da desinfecção (SODIS)	204.600	9.090
	Depois da desinfecção (SODIS)	5,2	0
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Antes da desinfecção (SODIS)	108.100	6.890
	Depois da desinfecção (SODIS)	5,2	0
Clorofila a (?g/L)	Antes da desinfecção (SODIS)	51,48	32,34
	Depois da desinfecção (SODIS)	4,84	0
<b>Segundo Teste (Tempo de exposição de 6 h, céu sem nuvens)</b>			
		Afluente	Efluente
Turbidez (NTU)		33,4	1,73
Cor (UC)		320	48
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Antes da desinfecção (SODIS)	816.400	98.040
	Depois da desinfecção (SODIS)	2,0	0
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Antes da desinfecção (SODIS)	488.400	64.880
	Depois da desinfecção (SODIS)	2,0	0
Clorofila a (?g/L)	Antes da desinfecção (SODIS)	154.44	23.76
	Depois da desinfecção (SODIS)	6,93	2,08
<b>Terceiro Teste (Tempo de exposição de 6 h, céu parcialmente nublado)</b>			
		Afluente	Efluente
Turbidez (NTU)		14,97	2,00
Cor (UC)		92	62
Coliformes Totais (NMP/100mL)	Antes da desinfecção (SODIS)	727.000	10.760
	Depois da desinfecção (SODIS)	3,1	0
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Antes da desinfecção (SODIS)	387.300	2.380
	Depois da desinfecção (SODIS)	3,1	0
Clorofila a (?g/L)	Antes da desinfecção (SODIS)	36,96	10,42
	Depois da desinfecção (SODIS)	0,96	0

### 5.3. Resultados dos exames biológicos

Em análise microscópica, em amostras do afluente e do schmutzdeck, foram observados protozoários, bacilos, ciliados, helmintos e ovos de helmintos e vários gêneros de algas. Já em amostras do efluente, observou-se apenas algumas algas, comprovando a eficiência do Filtro Lento na remoção de vários microrganismos.

Ao longo do trabalho, foi observado que nas épocas mais quentes do ano surgiam larvas de insetos e insetos no interior do Filtro Lento. As larvas eram depositadas primeiramente na água dos tanques sépticos e dos leitos cultivados e, depois, eram conduzidas ao Filtro Lento juntamente com o afluente. Tais larvas são do gênero *Culex* sp., as quais se alimentam de água com poluentes orgânicos e necessitam de meios quentes para se desenvolver. Em áreas endêmicas, os pernilongos deste gênero transmitem a doença elefantíase (filariose). A região de Campinas não é uma área endêmica, portanto a presença destes insetos no Filtro não traz malefícios à população desta cidade.

Além disso, é importante ressaltar que o Filtro permaneceu tampado durante todo o trabalho, impedindo a liberação destes insetos. Ainda, o Filtro Lento foi eficiente na remoção de larvas deste inseto, o que protegeria o corpo d'água onde seu efluente seria lançado.

Também é importante esclarecer que o Filtro Lento não contribui para a procriação de mosquitos transmissores da Dengue, porque estes põem seus ovos em água limpa. No caso do Filtro Lento, sendo um sistema completamente tampado, a única possibilidade de surgirem larvas de inseto seria a condução destas a partir dos tanques sépticos ou dos leitos cultivados. Como nestes últimos as características da água não constituem o ambiente ideal para que o mosquito coloque seus ovos, esta possibilidade pode ser desconsiderada.

## 6. ARTIGOS

## **6.1. Artigo Científico I**

Artigo enviado à Revista da ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental)

# Eficiência Da Filtração Lenta No Tratamento De Efluentes De Leitos Cultivados

**LUCIANA DE RESENDE LONDE**

*Bióloga, aluna de Mestrado da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).*

**JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI**

*Engenheiro Civil, Prof. Associado da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).*

*Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas, SP, CEP 13083 970, tel (19) 3788 1019.  
e-mail: [pater@agr.unicamp.br](mailto:pater@agr.unicamp.br)*

1. **Resumo:** Os leitos cultivados e a filtração lenta são tecnologias que vêm apresentando bons resultados respectivamente no tratamento de esgotos domésticos e água. O objetivo do presente trabalho foi verificar a eficiência da filtração lenta no tratamento de efluentes de leitos cultivados. O filtro lento foi construído com materiais alternativos de fácil obtenção, como areia grossa de construção civil, caixas plásticas pré-fabricadas e mantas não tecidas. Em ensaios com taxa de filtração igual a  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ , o Filtro Lento reduziu, em média, em 64% a turbidez, 38% a cor, 62% os sólidos suspensos totais, em 92,57% *E. coli* e em 85,61% os coliformes totais. Nos ensaios com taxa de filtração de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ , a redução em média foi de 72% para turbidez, 44% para cor, 67% para sólidos suspensos totais, 83,87% para *E. coli* e 82,90% para coliformes totais.

2. **Abstract:** Slow Sand Filters and Constructed Wetlands are systems generally used to treat water and residuary water. They offer simple instalation and operation and small costs. Therefore, they are appropriate for rural area or small communities and can make possible the water reuse. This work is an evaluation of Slow Sand Filtration efficiency to treat Constructed Wetlands effluent. The Filter was constructed using simple and cheap material, as plastic boxes, sand and non-woven fabrics,. Results from tests using filtration rate of  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ , show reductions of 64% for turbidity, 38% for apparent color, 62%, for total solids, 92,57% for *E. coli* and 85,61% for total coliforms. At testes with filtration rate of  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$ , reduction was 72% for turbidity, 44% for apparent color, 67% for total solids, 83,87% for *E. coli* and 82,90% for total coliforms.

**Palavras-Chave:** Filtração Lenta, Leitos cultivados, Reutilização da Água, Saneamento Rural

## 3. INTRODUÇÃO

A escassez de água de boa qualidade tem sido foco de grandes preocupações do mundo moderno. No Brasil, o tratamento precário ou inadequado de águas e esgotos ocasiona a transmissão de várias doenças e a poluição de rios e lagos, além de representar danos ao ambiente. Desta forma, uma grande quantidade de água que poderia ser reutilizada torna-se inadequada ao uso.

Na área urbana brasileira, onde seria esperada uma maior facilidade de recursos para a implantação de um sistema de tratamento eficiente, encontram-se muitas dificuldades de ordem técnica e política. Na zona rural esta situação se agrava, visto que muitas vezes não há condições financeiras ou informação suficiente para a implantação de um sistema de tratamento a aproveitamento de águas residuárias. Os resíduos líquidos gerados por atividades agrícolas ou esgotos domésticos são eliminados no ambiente, e, além da possibilidade de contaminar o solo e os mananciais, não podem ser utilizados para outros fins.

O uso de leitos cultivados tem sido proposto como um método de tratamento de esgotos de baixo custo e eficiente para pequenas propriedades rurais (Newman et al., 2000), por sua grande capacidade em reduzir a carga de resíduos sólidos e substâncias tóxicas (Gopal, 1999). Tendo em vista que ambos os sistemas, filtração lenta e leitos cultivados, possibilitam a melhoria das características químicas, físicas e bacteriológicas do efluente (Gearheart, 1999) e apresentam custos geralmente acessíveis ao produtor rural (Azevedo Neto e Hespanhol, 1979), o emprego das duas tecnologias em conjunto poderá viabilizar o uso da água que seria descartada, podendo esta ser reaproveitada em várias atividades na zona rural. O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade e eficiência de um sistema de filtração lenta para complementar o tratamento dos efluentes dos leitos cultivados.

## **4. MATERIAL E METODOS**

### **4.1. Local do Experimento**

Os ensaios foram realizados na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde estão instalados um sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico por leitos cultivados e um sistema de filtração lenta, objeto deste estudo.

### **4.2. Tratamento anterior à Filtração Lenta**

O esgoto doméstico da Faculdade é composto por uma mistura de dejetos domésticos e sanitários e de água residuária dos laboratórios e da oficina mecânica. Este esgoto passa por um tanque séptico de três compartimentos em série modificado (reatores anaeróbios compartimentados) e por leitos cultivados com macrófitas (sistema aquático natural) (Valentim, 1999). Em seguida, o efluente é conduzido ao sistema de filtração lenta, que é o sistema avaliado no presente trabalho.

### **4.3. Sistema de Filtração Lenta**

O Filtro Lento é constituído por um tanque cilíndrico de plástico PEMD rotomoldado com altura útil de 1200 mm, diâmetro igual a 600 mm e fundo cônico contendo uma grade metálica, que forma o sistema de drenagem. O esquema da instalação piloto é mostrado na figura 1. O sistema de coleta do efluente do Filtro Lento é constituído por um tubo de PVC de 1/2", o qual tem origem junto ao sistema de drenagem e segue até 10 cm acima da camada de areia, evitando assim a ocorrência de pressão negativa e, conseqüentemente, acúmulo de ar no interior do meio filtrante, além de garantir a presença constante de água no interior do Filtro. Embora o funcionamento do filtro não tenha sido contínuo, visto que ocorria falta de efluente dos leitos cultivados durante a noite, finais de semana e feriados, o nível de água no interior do

filtro foi mantido sempre acima do leito filtrante, para evitar possíveis alterações no schmutzdeck.

O meio filtrante é constituído por uma camada de areia de 30 cm espessura e por mantas sintéticas não tecidas instaladas no topo desta e também na camada suporte.

O efluente dos leitos cultivados, que é o afluente do sistema de filtração lenta, é conduzido, através de uma calha, a uma caixa de controle de vazão, e, em seguida, através de uma mangueira plástica preta, até o interior do Filtro Lento. Em virtude da alta e rápida proliferação de algas, visto que o meio é propício ao seu desenvolvimento, todo o sistema, incluindo mangueiras foi tampado ou envolvido com plástico preto.

O acompanhamento da evolução da perda de carga devido a retenção de impurezas pelos filtros foi feito através da medição da altura do nível de água no interior dos mesmos. Para isso, foi colocado na parede externa de cada filtro, uma escala feita em papel milimetrado. De acordo com esta escala, a carga hidráulica disponível no filtro é de 680mm.

Foram realizados três ensaios com taxa de filtração igual a  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e três com taxa de filtração de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ .

A eficiência do filtro lento foi avaliada através da análise de amostras de água extraídas do afluente e efluente do mesmo

As análises foram realizadas segundo Standard Methods (APHA, 1995), com exceção do teste de clorofila a, realizado segundo método proposto por Wood (1985).

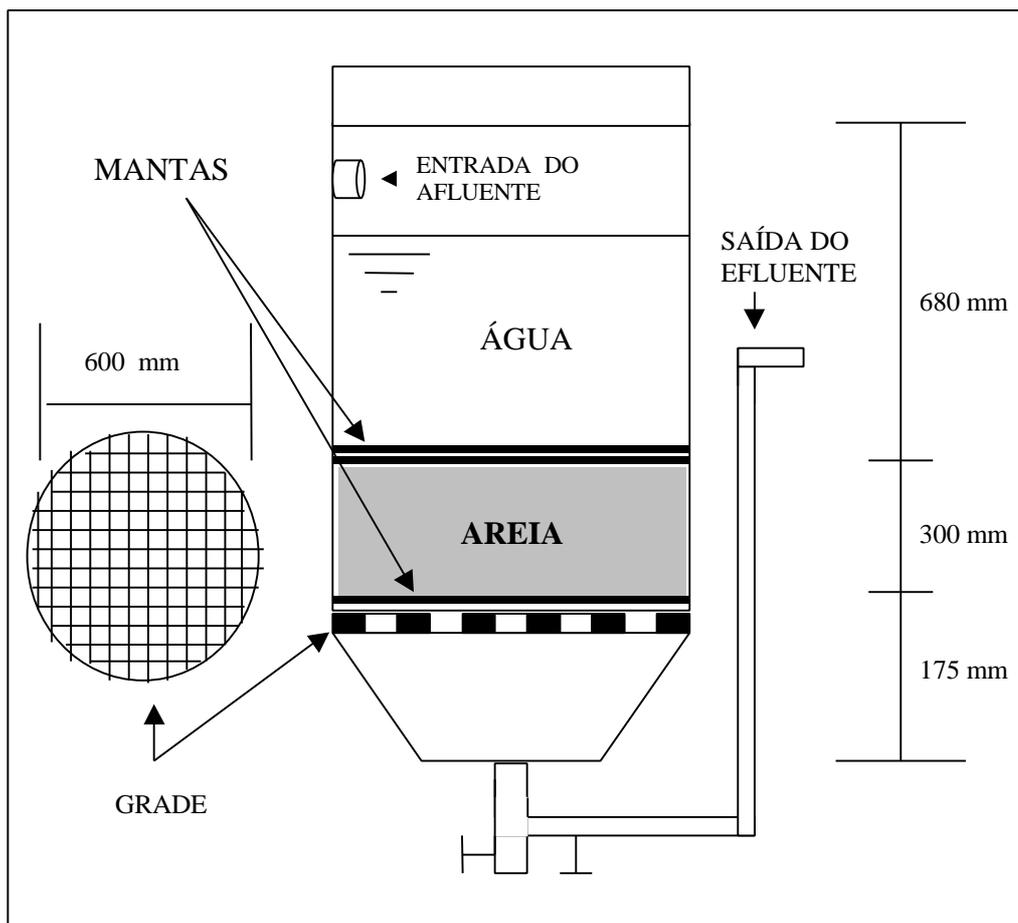


Figura 1: Desenho esquemático do sistema de Filtração Lenta

## **4.4. Material Filtrante Utilizado**

### **4.4.1. Areia**

A areia utilizada no meio filtrante foi areia grossa de construção passada por peneira de 1 mm.

Antes de ser colocada no Filtro, a areia foi lavada em uma unidade simples, constituída de um galão de plástico de 50L. A água para lavagem entra pela parte inferior e é distribuída por um sistema de canalizações perfuradas de PVC de ½ polegada. Sobre essas canalizações, uma camada suporte composta de brita 1 auxilia a distribuição da água para lavagem.

A aplicação da água para lavagem é feita por meio de uma mangueira conectada a uma torneira, que promove a entrada da água no sentido ascensional e a fluidificação dos grãos de areia. Neste trabalho, como a água chegava com alta pressão, não foi necessária a utilização de bomba centrífuga.

A areia foi colocada dentro da unidade em pequenas quantidades (cerca de 1Kg), com o devido cuidado para que os grãos de areia mais finos não fossem carreados juntamente com a água suja, pois isso reduziria o coeficiente de desuniformidade (CD), alterando as características da areia.

Após o processo de lavagem, a areia limpa foi distribuída em bandejas de alumínio e levada à estufa para que fosse seca. O período de secagem da areia foi de 24 horas sob temperatura de 105°C.

Os resultados obtidos nos ensaios granulométricos da areia juntamente com as características granulométricas recomendadas por Di Bernardo (1993) para a areia empregada na filtração lenta são apresentados na tabela 1.

A areia grossa passada pela peneira com abertura de 1mm apresentou características bastante adequadas para ser usada na filtração lenta, apresentando valores dentro do limite recomendado. (Di Bernardo & Escobar, 1996).

Tabela 1: Características granulométricas obtidas para a areia grossa de construção civil e características recomendadas para a areia usualmente empregada em filtros lentos.

Tamanho Efetivo (mm)	Coeficiente de Desuniformidade (CD)	Tamanho dos Grãos (mm)	Referência
0,15	2,4	0,053 a 1,000	Ensaio realizado neste trabalho
0,15 a 0,3	1,5 a 3,0	0,104 a 1,0	DI BERNARDO (1993)

### **4.4.2. Mantas sintéticas não tecidas**

Foram utilizadas mantas sintéticas não tecidas da marca AMOCO-Propex do Brasil, modelo 4510, cujas características encontram-se na Tabela 2.

As mantas sintéticas não tecidas foram selecionadas com base em estudo feito por Loes (1999). O autor caracterizou diferentes tipos de não tecidos através da determinação de suas

principais propriedades físicas, tais como: porosidade, massa específica, superfície específica, espessura, etc.

Dos nove tipos de não tecidos estudados pelo autor, foram selecionados dois para serem utilizados na pesquisa, denominados M1 e M2, com base nos valores de porosidade e superfície específica. Estes parâmetros são de extrema importância pois estão relacionados, respectivamente, com o potencial da manta de reter impurezas presentes na água e com o mecanismo de adsorção. Segundo Paterniani (1991) a combinação desses parâmetros determina qual manta melhor se adapta às condições de filtração, como taxa de filtração, qualidade da água e sistema de filtração utilizado.

As mantas não tecidas são utilizadas no topo da camada de areia e na camada suporte da unidade de filtração lenta. Sua composição e propriedades são apresentadas na tabela 2.

Os altos valores de porosidade são desejáveis pois proporcionam pequena perda de carga no sistema de filtração, aumentando a duração das carreiras de filtração ou possibilitando a adoção de taxas de filtração mais elevadas.

As mantas foram recortadas em forma circular com diâmetros ligeiramente maiores que o diâmetro dos filtros e foram fixadas através de arcos de polietileno com diâmetro ligeiramente menor que o diâmetro interno das unidades. Estes arcos pressionam as mantas contra a parede interna dos filtros, evitando caminhos preferenciais da água nesta região.

Tabela 2: Propriedades e Composição das mantas sintéticas não tecidas.

Propriedades	Mantas	
	M 1	M 2
Porosidade	95.70 %	62.84 %
Massa Específica	0.1291 g/cm <sup>3</sup>	0.1328 g/cm <sup>3</sup>
Superfície Específica	2.530 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	26.936 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Gramatura	380 g/m <sup>2</sup>	450 g/m <sup>2</sup>
Diâmetro médio das Fibras	67,950 ?m	55,179 ?m
Composição	100% Polipropileno 33,0 Dtex	100% Poliéster 33,0 Dtex

#### 4.5. Controle de Vazão

A vazão afluyente para o filtro foi regulada através da variação da altura de um orifício (? = 5mm) de descarga livre localizado em um tubo de PVC, que se encontrava dentro de uma caixa de distribuição. Na figura 2 é apresentado o esquema da caixa de distribuição.

As respectivas alturas do orifício em relação ao nível de água da caixa (h) para cada uma das duas taxas de filtração ensaiadas, de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d e 6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d, foram calculadas através da seguinte equação:

$$\text{Equação (1): } Q = Cd.A\sqrt{2gh}$$

onde:

Q= vazão (m<sup>3</sup>/s)

Cd= Coeficiente de descarga =0,82

A= área do orifício ( $m^2$ )

g= aceleração da gravidade ( $m^2/s$ )

h= altura do orifício em relação ao nível de água dentro da caixa de distribuição (cm).

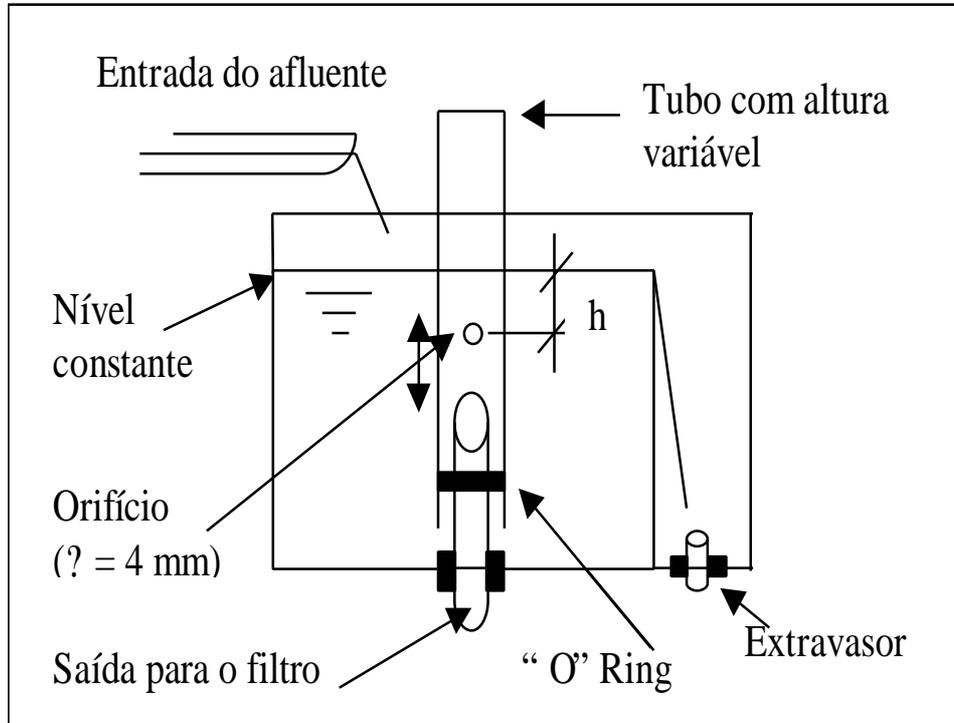


Figura 2: Desenho esquemático da caixa de distribuição para controle das taxas de filtração.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Comparação entre as diferentes taxas de Filtração:

Foram realizados três ensaios com taxa de filtração igual a  $3 m^3/m^2.dia$  e três ensaios com taxa de  $6 m^3/m^2.dia$ . Considerando-se as médias gerais de todos os ensaios, os ensaios de  $3 m^3/m^2.dia$  apresentaram valores menores de cor, turbidez, sólidos suspensos totais e Ferro, porém apresentaram maiores valores de coliformes totais, *E. coli*,  $DBO_5$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_3$ , N. Estas comparações podem ser observadas com base nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Valores dos parâmetros analisados em ensaios com taxas de filtração de  $3 m^3/m^2.dia$ .

Parâmetros	Medidas	Afluente	Efluente
TURBIDEZ	MEDIAS	10.22	3.69
	Valor Máximo	66.00	29.30
	Valor Mínimo	1.14	0.70
COR	MEDIAS	112.00	69.35
	Valor Máximo	539.00	217.00
	Valor Mínimo	23.00	11.60

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	MEDIAS	0.76	0.29
	Valor Máximo	7.90	2.60
	Valor Mínimo	0	0
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	MEDIAS	2.07	2.06
	Valor Máximo	3.87	4.87
	Valor Mínimo	0.14	0.14
FERRO	MEDIAS	1.06	1.16
	Valor Máximo	2.35	3.02
	Valor Mínimo	0.18	0.12
MANGANÊS	MEDIAS	0.11	0.18
	Valor Máximo	0.15	1.12
	Valor Mínimo	0.05	0.02
pH	MEDIAS	6.93	7.04
	Valor Máximo	7.65	7.65
	Valor Mínimo	6.40	6.60
TEMPERATURA	MEDIAS	27.58	25.80
	Valor Máximo	45.00	36.00
	Valor Mínimo	19.00	16.00
DBO <sub>5</sub>	MEDIAS	98	84
	Valor Máximo	131	145
	Valor Mínimo	30	13
DQO	MEDIAS	76.98	76.35
	Valor Máximo	145.2	240.8
	Valor Mínimo	46.17	38.77
COLIFORMES TOTAIS	MEDIAS	6815395.07	980451.20
	Valor Máximo	241.920000.00	30760000.00
	Valor Mínimo	2419.20	1510.00
<i>E. coli</i>	MEDIAS	1576980.22	117.148.73
	Valor Máximo	30440000.00	1986300.00
	Valor Mínimo	2000.00	399.00
P	MEDIAS	1.87	2.01
	Valor Máximo	3.34	3.26
	Valor Mínimo	0.10	0.10
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	MEDIAS	5.74	6.16
	Valor Máximo	10.24	9.96
	Valor Mínimo	0.20	0.40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MEDIAS	4.29	4.60
	Valor Máximo	7.66	7.44
	Valor Mínimo	0.20	0.30
N	MEDIAS	34.44	36.56
	Valor Máximo	90	100
	Valor Mínimo	20	20
NH <sub>3</sub>	MEDIAS	41.56	43.11
	Valor Máximo	110	120
	Valor Mínimo	24	24
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	MEDIAS	151.56	159.11
	Valor Máximo	390	430
	Valor Mínimo	88	92

Tabela 4: Valores dos parâmetros analisados em ensaios com taxas de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

PARÂMETROS	MEDIDAS	AFLUENTE	EFLUENTE
TURBIDEZ	MEDIAS	14.64	4.16
	Valor Máximo	106.00	27.80
	Valor Mínimo	1.39	0.52
COR	MEDIAS	132.18	74.16
	Valor Máximo	900.00	205.00
	Valor Mínimo	41.00	32.00
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	MEDIAS	0.87	0.29
	Valor Máximo	8.50	3.60
	Valor Mínimo	0	0
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	MEDIAS	1.39	1.32
	Valor Máximo	2.63	3.50
	Valor Mínimo	0.30	0.17
FERRO	MEDIAS	1.44	1.30
	Valor Máximo	2.01	2.17
	Valor Mínimo	0.70	0.45
MANGANÊS	MEDIAS	0.14	0.16
	Valor Máximo	0.19	0.25
	Valor Mínimo	0.09	0.09
pH	MEDIAS	6.93	7.09
	Valor Máximo	8.10	7.95
	Valor Mínimo	6.38	6.59
TEMPERATURA	MEDIAS	25.11	25.05
	Valor Máximo	39.00	35.00
	Valor Mínimo	16.00	15.00
DBO <sub>5</sub>	MEDIAS	47.86	23.96
	Valor Máximo	90.80	45.60
	Valor Mínimo	12.20	5.90
DQO	MEDIAS	96.80	67.97
	Valor Máximo	253.10	181.70
	Valor Mínimo	38.77	38.77
COLIFORMES TOTAIS	MEDIAS	2752320.57	470693.90
	Valor Máximo	24192000.00	2419200.00
	Valor Mínimo	34192.00	970.00
<i>E. coli</i>	MEDIAS	334203.38	53896.71
	Valor Máximo	1119900.00	241920.00
	Valor Mínimo	7230.00	200.00
P	MEDIAS	2.01	1.90
	Valor Máximo	4.40	3.60
	Valor Mínimo	0.80	0.20
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	MEDIAS	6.10	5.93
	Valor Máximo	13.30	11.90
	Valor Mínimo	2.38	0.60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MEDIAS	4.57	4.33
	Valor Máximo	10.00	8.10
	Valor Mínimo	1.79	0.50

N	MEDIAS	26.25	24.38
	Valor Máximo	70	50
	Valor Mínimo	10	10
NH <sub>3</sub>	MEDIAS	32.38	29.25
	Valor Máximo	90	60
	Valor Mínimo	12	12
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	MEDIAS	115.63	112.50
	Valor Máximo	310	230
	Valor Mínimo	42	44

## 5.2. Cor

A cor é o resultado dos processos de decomposição provocados pela variação de íons metálicos, como ferro e magnésio, matéria orgânica decomposta, plâncton e partículas em suspensão. (CESP, 1998) Como neste estudo a água é rica em todos os compostos citados acima, os valores encontrados para cor são geralmente elevados, conforme se observa nas figuras 3 e 4, para as duas taxas estudadas. Mesmo assim, nota-se que o Filtro Lento removeu aproximadamente 38.08% e 43.89% de cor para as taxas de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. e 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, respectivamente.

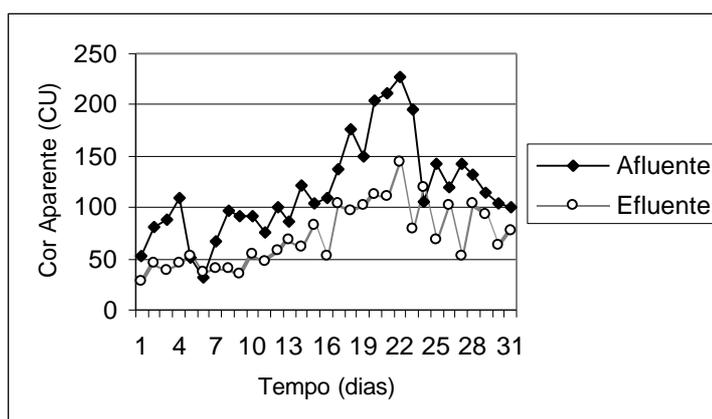


Figura 3: Valores de Cor obtidos no 1º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

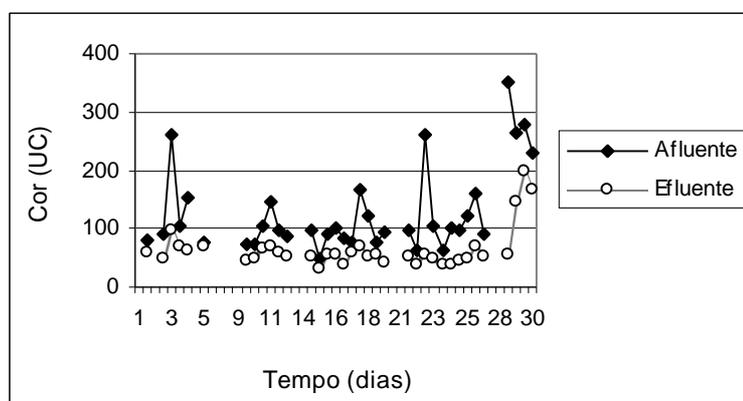


Figura 4: Valores de Cor obtidos no 2º ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

### 5.3. pH

Os valores de pH na água em estudo variaram entre 6,40 e 8,10, com valores médios próximos de 7,00, não tendo sido observadas alterações deste parâmetro no afluente e efluente do Filtro Lento.

### 5.4. Temperatura da água

A temperatura da água variou ao longo dos ensaios, em função das estações do ano e também do grau de nebulosidade do local onde se encontra o Filtro Lento. Além disto, é significativo o modo como o sistema foi instalado, envolto com plástico preto e com o afluente conduzido por mangueira preta, o que tende a aumentar a temperatura. Os valores medidos encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

### 5.5. Turbidez

Os valores de turbidez sofreram muitas variações em função das oscilações nas características do afluente, sendo estas influenciadas por chuvas, obstruções no sistema de leitos cultivados e despejo de substâncias diferentes na rede de esgoto. Apesar de tais variações, os valores de turbidez para o efluente permaneceram, em média abaixo de 4 UNT. Os gráficos de alguns ensaios realizados podem ser observados nas Figuras 5 e 6.

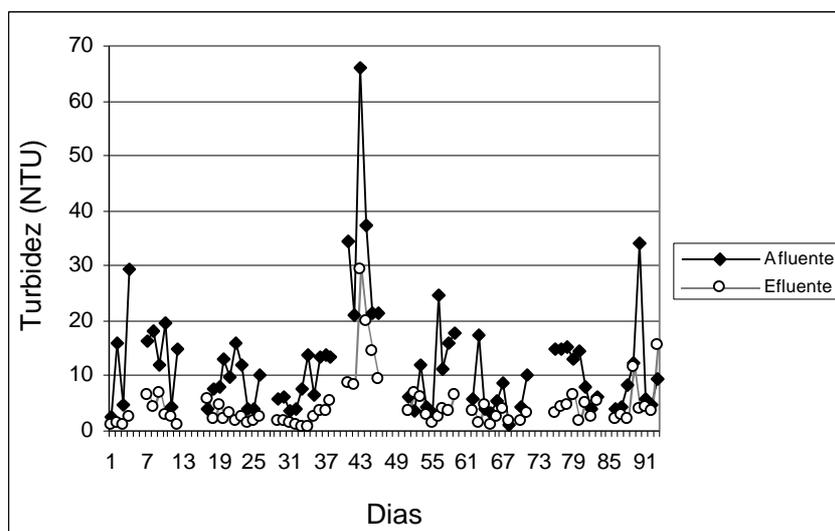


Figura 5: Valores de Turbidez obtidos no segundo ensaio com taxa de filtração de  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

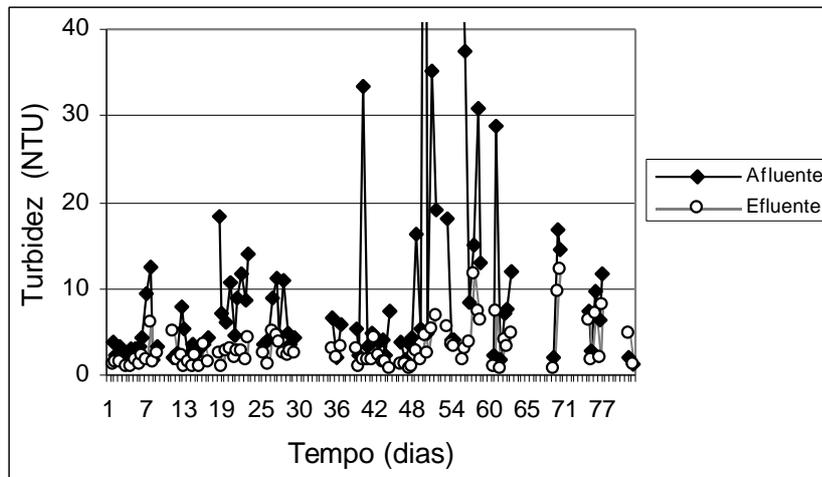


Figura 6: Valores de Turbidez obtidos no primeiro ensaio com taxa de filtração de  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

### **5.6. Oxigênio Dissolvido**

Considerando-se que o afluente do Filtro lento é rico em matéria orgânica e que esta é degradada em parte ainda nos leitos cultivados e em parte pelo schmutzdeck, nota-se que os níveis de oxigênio dissolvido encontram-se baixos. Para solucionar tal problema, sugerimos que a saída para o efluente do filtro lento seja projetada com degraus, para promover sua reaeração.

### **5.7. Coliformes Totais e *E. coli***

Alguns valores encontrados para Coliformes Totais estão nas Figuras 11 e 12 e para *E. coli* nas Figuras 13 e 14. Embora tenha havido redução de Coliformes Totais e *E. coli* pelo Filtro Lento, este número ainda permaneceu acima dos valores esperados. Este fato pode ser explicado em virtude do tipo de afluente utilizado para o Filtro. Nestas condições, o efluente do Filtro poderia ser reaproveitado para uso ornamental ou na irrigação de culturas que não serão ingeridas “in natura”. Para outros tipos de reutilização desta água, deve-se acrescentar ao tratamento um processo de desinfecção, para prevenir riscos de contaminação por organismos patogênicos.

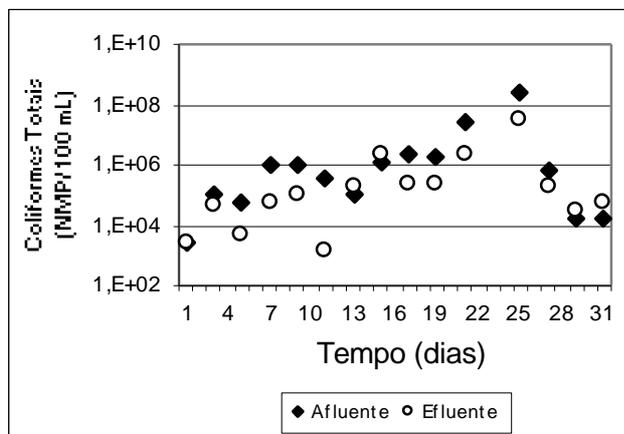


Figura 11: Valores de Coliformes Totais obtidos no 1º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

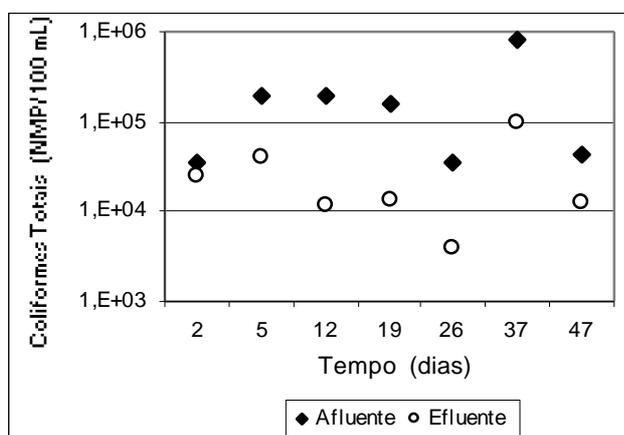


Figura 12: Valores de Coliformes Totais obtidos no 1º ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

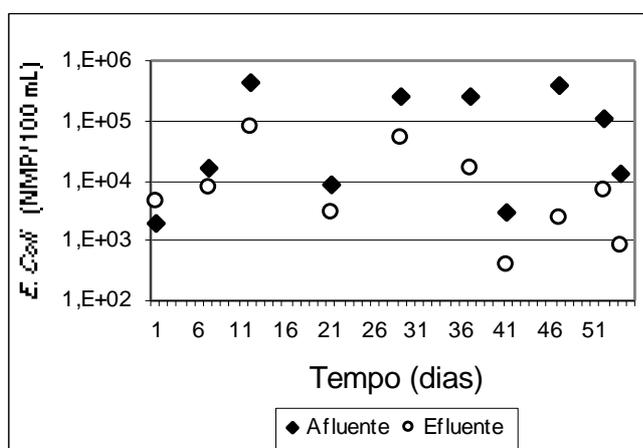


Figura 13: Valores de *E. coli* obtidos no 3º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

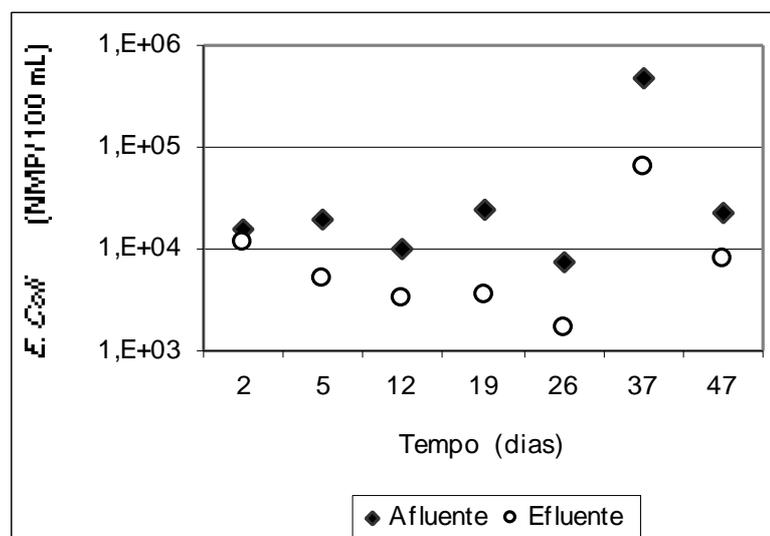


Figura 14: Valores de *E. coli* obtidos no 1º ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

### **5.8. Ferro e Manganês**

A concentração de Ferro e Manganês no afluente do filtro não é significativa, porque ambos são removidos antes da passagem pelo filtro, ainda nos leitos cultivados. Houve um ligeiro aumento na concentração de ambos, no efluente, provavelmente por interferência da composição da areia utilizada no filtro lento.

## **6. CONCLUSÕES**

A filtração lenta ao ser utilizada como tecnologia complementar em sistemas de tratamento de águas residuárias, apresenta como vantagens a simplicidade de instalação, operação e manutenção, e, também, seu baixo custo. A utilização do efluente do sistema deve ser condicionada à reaeração, e, dependendo da finalidade do uso, à desinfecção. Ainda assim, o sistema mostrou-se eficiente no tratamento dos efluentes de leitos cultivados, com relação aos principais parâmetros avaliados.

## **7. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FAPESP pela Bolsa de Mestrado concedida (Processo: 00/01511-9).

## **8. LITERATURA CITADA**

APHA; AWWA e WPCF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater., Washington D.C./USA: American Public Health Association, 1995, 19ª Edição

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

CESP Conservação e Manejo nos Reservatórios: Limnologia, Ictiologia e Pesca. São Paulo, 1998. 166 p. Série Divulgação e Informação, 220

DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, vols. 1 e 2. ABES, Rio de Janeiro. 1993.

GEARHEART, R.A. The use of free surface constructed wetland as an alternative process treatment train to meet unrestricted water reclamation standards. Water Science And Technology, Vol. 40, n. 4-5, Pg. 375-382, 1999.

GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems Water Science And Technology, N. 44. 1999, Pg. 9 Vol. 40

LOES, D.S.G. “Determinação de Mantas não Tecidas Utilizadas em Filtros para Irrigação Localizada”. Relatório Final de Iniciação Científica - FAPESP. 1999.

NEWMAN, JM CLAUSEN, JC NEAFSEY, JA Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut Ecological Engineering N. 74, 2000, Pg. 18 Vol. 14.

PATERNIANI, J. E. S. “Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, 1991.

VALENTIM, M.A.A. Uso de Leitões Cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado. Campinas: UNICAMP, 1999, 119 p. Dissertação (Mestrado).

WOOD, L.W. Chloroform-Methanol Extraction of Chlorophyll a. Com. J. Fisli. Aquat. Sci. Vol 42, 1985, p. 38-43.

## **6.2. Artigo científico II**

Artigo enviado à Revista Brasileira de Engenharia  
Agrícola e Ambiental - AGRIAMBI

# POTENCIALIDADE DA FILTRAÇÃO LENTA PARA REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

**Luciana de Resende Londe; José Euclides Stipp Paterniani**

*Aluna de Mestrado e Prof. Associado da Faculdade de Engenharia Agrícola  
(FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Cidade Universitaria  
Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas, SP, CEP 13083 970 tel (19) 3788 1019 e-mail:  
pater@agr.unicamp.br*

**1. Resumo:** O tratamento de esgotos domésticos por leitos cultivados tem se mostrado eficiente, principalmente na diminuição de sólidos, cor e turbidez. Esta tecnologia, porém, mantém ainda uma quantidade alta de coliformes totais e fecais e não elimina a necessidade de tratamentos complementares quando pretende-se reutilizar seu efluente. A proposta deste trabalho é a utilização da filtração lenta como tratamento posterior ao de leitos cultivados, possibilitando a reutilização de águas residuárias em atividades rurais, como a irrigação localizada. Os dois sistemas de tratamento possibilitam simplicidade de instalação e operação e custos reduzidos. Portanto, são adequados em pequenas comunidades ou áreas rurais. Para os ensaios realizados com taxa de filtração igual a  $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ , o Filtro Lento reduziu, em média, em 64% a turbidez, 38% a cor, 62% os sólidos suspensos totais, em 92,57% *E. coli* e em 85,61% os coliformes totais. Nos ensaios com taxa de filtração igual a  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ , a redução em média foi de 72% para turbidez, 44% para cor, 67% para sólidos suspensos totais, 83,87% para *E. coli* e 82,90% para coliformes totais.

**Palavras-Chave:** Filtração Lenta, Leitos Cultivados, Reuso da Água, Irrigação Localizada

## EFFICIENCY OF SLOW SAND FILTRATION FOR WATER REUSE AT DRIP IRRIGATION

**2. Abstract:** Sewage treatment by constructed wetlands is very efficient to reduce color, turbidity and solids. Although, it remains a high amount of total coliforms and faecal coliforms and then it needs another treatment before water reuse. This study has evaluated the efficiency of slow sand filtration to treat constructed wetlands effluents and intends to make possible the water reuse at rural works, for example at drip irrigation. Both treatment systems,

constructed wetlands and slow sand filtration, needs simple installation and slow flows. They are indicated for small communities or rural areas. Results from tests using filtration rate of 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, show reductions of 64% for turbidity, 38% for apparent color, 62% for total solids, 92,57% for *E. coli* and 85,61% for total coliforms. At tests with filtration rate of 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, reduction was 72% for turbidity, 44% for apparent color, 67% for total solids, 83,87% for *E. coli* and 82,90% for total coliforms.

**Key-Words:** slow sand filtration, constructed wetlands, water reuse, drip irrigation

### 3. INTRODUÇÃO

Atualmente há uma preocupação crescente com relação ao destino final de águas residuárias, bem como com a política de uso racional dos recursos hídricos. No Brasil, vários cursos d'água estão poluídos e sem perspectivas de recuperação a curto prazo, devido à falta de recursos financeiros, desinformação, entre outros. Neste contexto, torna-se importante o estudo de sistemas de tratamento que minimizem este problema.

O uso de leitos cultivados tem sido proposto como um método de tratamento de esgotos de baixo custo e eficiente para pequenas propriedades rurais (Newman et al., 2000), por sua grande capacidade em reduzir a carga de resíduos sólidos e substâncias tóxicas (Gopal, 1999).

O sistema filtração lenta, por sua vez, atua na redução de cor, turbidez, sólidos suspensos e coliformes totais e fecais e também possibilita simplicidade de instalação e operação e custos reduzidos.

Tendo em vista que os sistemas possibilitam a melhoria das características químicas, físicas e bacteriológicas do efluente (Gearheart, 1999) e apresentam custos geralmente acessíveis ao produtor rural, o uso das duas tecnologias em conjunto poderá viabilizar o uso da água que seria descartada, podendo esta ser reaproveitada para vários trabalhos na zona rural, como a irrigação localizada, uma vez que pode prevenir a obstrução de gotejadores e emissores por partículas sólidas em suspensão.

O presente trabalho tem como objetivo utilizar um sistema de filtração lenta para complementar o tratamento por leitos cultivados do esgoto da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

## **4. MATERIAL E METODOS**

### **4.1. Local do Experimento**

Os ensaios foram realizados na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), onde estão instalados um sistema piloto de tratamento de esgoto doméstico por leitos cultivados e um sistema de filtração lenta.

### **4.2. Características do Afluente Primário e Tratamentos anteriores à Filtração Lenta**

O esgoto da Faculdade é composto por uma mistura de dejetos domésticos e sanitários e água proveniente dos laboratórios e oficina mecânica. Inicialmente, a água residuária citada passa por um tanque séptico de três compartimentos em série modificado (reatores anaeróbios compartimentados) e por leitos cultivados com macrófitas (sistema aquático natural) (Valentim, 1999). Em seguida, o efluente é conduzido ao sistema de filtração lenta.

### **4.3. Características do Filtro Lento utilizado**

O Filtro Lento foi montado com as características apresentadas na Figura 1.

Como meio filtrante foram utilizados areia grossa de construção passada por peneira de 1 mm, cujas características estão na Tabela 1 e mantas sintéticas não tecidas da marca AMOCO-Propex do Brasil, modelo 4510, cujas características encontram-se na Tabela 2. Em virtude da alta e rápida proliferação de algas, visto que o meio é propício ao seu desenvolvimento, todo o sistema, incluindo mangueiras foi tampado ou envolvido com plástico preto. O sistema foi operado com duas taxas de filtração (3 e 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia).

O efluente dos leitos cultivados, que é o afluente do sistema de filtração lenta, é conduzido, através de uma calha, a uma caixa de distribuição. O controle vazão do afluente do filtro é feito pela variação da altura do orifício de 4 mm de um tubo de PVC instalado na caixa de distribuição, cujo esquema é representado na Figura 2.

Embora o funcionamento do filtro não tenha sido contínuo, visto que ocorria falta de efluente dos leitos cultivados durante a noite, finais de semana e feriados, o nível de água no interior do filtro foi mantido sempre acima do leito filtrante, para evitar ressecamento do leito filtrante e a conseqüente redução de eficiência do sistema.

#### 4.4. Metodologia das Análises

A eficiência do Filtro Lento foi avaliada através da análise de parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos em amostras de água extraídas do afluente e efluente do mesmo.

As análises foram realizadas segundo Standard Methods (APHA, 1995), com exceção do teste de clorofila a, realizado segundo método proposto por Wood (1985).

Tabela 1: Características da areia utilizada no meio filtrante do Filtro Lento

Características da areia utilizada	
Espessura da camada	300 mm
Maior Grão	1 mm
Menor grão	0,053 mm
Tamanho efetivo (D10)	0,2 mm
Coefficiente de Desuniformidade (CD)	2,4

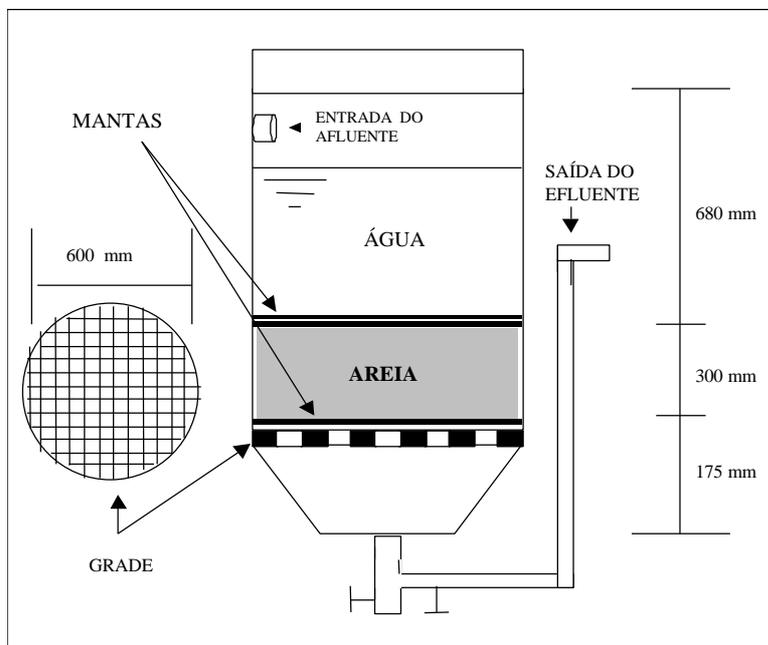


Figura 1: Desenho esquemático do Filtro Lento

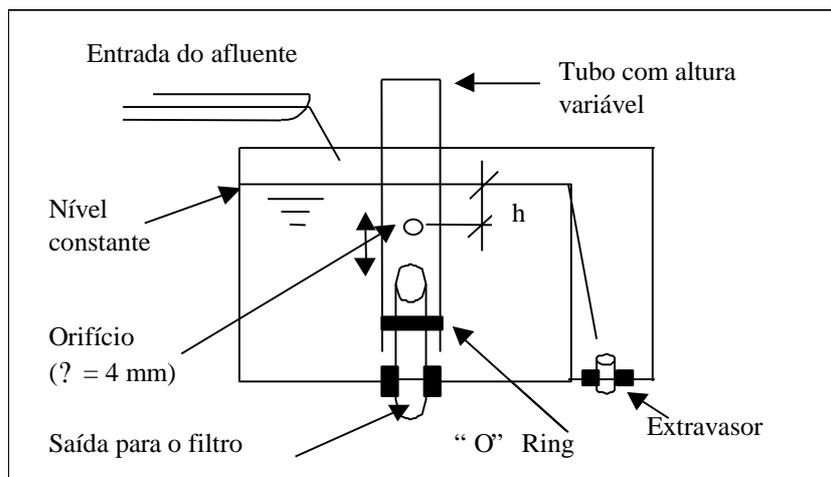


Figura 2: Caixa de Distribuição e Controle da Vazão do Afluente do Filtro Lento

Tabela 2: Características das Mantas Não Tecidas utilizadas no Filtro Lento

Propriedades	Mantas	
	M1	M2
Porosidade	95,70 %	62,84 %
Massa específica	0,1291 g/cm <sup>3</sup>	0,1328 g/cm <sup>3</sup>
Superfície Específica	2,530 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	26,936 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Gramatura	380 g/m <sup>2</sup>	450 g/m <sup>2</sup>
Espessura	5,00 mm	3,8 mm
Diâmetro médio das Fibras	67,950 $\mu$ m	55,179 $\mu$ m
Composição	100% Polipropileno (33,0 Dtex)	100% Poliéster (33,0 Dtex)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Clorofila a

Os valores encontrados são muito variáveis. Como na maioria dos parâmetros analisados, o efluente segue as flutuações do afluente, porém em menor escala (valor médio de 60,88  $\mu$ g/L para o afluente e 28,22  $\mu$ g/L para o efluente). Sendo assim, houve picos em que ambos tiveram valores próximos de zero e houve dias em que ambos encontravam-se fortemente eutrofizados (valores máximos de 171,6  $\mu$ g/L para o afluente e 121,44 para o efluente). O shmutzdeck esteve sempre eutrofizado (valor médio igual a 643,33  $\mu$ g/L). Mesmo assim é possível afirmar que, ao contrário do afluente, o efluente esteve oligotrófico na maior parte das análises realizadas e apresenta riscos baixos de obstrução de emissores.

## 5.2. Oxigênio Dissolvido

Os fatores mais importantes do consumo de oxigênio estão representados pelo processo de decomposição da matéria orgânica, pela perda para a atmosfera e pela respiração de organismos aquáticos. (CESP, 1998) Considerando-se que o afluente do Filtro lento é rico em matéria orgânica e que esta é degradada em parte ainda nos leitos cultivados e em parte pelo schmutzdeck, foram esperados os baixos níveis de oxigênio dissolvido encontrados. Para solucionar tal problema, sugere-se que a saída para o efluente do filtro lento seja projetada com degraus, para promover sua reaeração. Os valores de oxigênio dissolvido podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo dos Valores de Oxigênio Dissolvido obtidos nos ensaios

Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Ensaio com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaio com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
MEDIAS	2,07	2,06	1,39	1,32
Valor Máximo	3,87	4,87	2,63	3,50
Valor Mínimo	0,14	0,14	0,30	0,17

## 5.3. pH

Segundo BUCKS e NAKAYAMA (1986), a obstrução de emissores é mais provável quando a água utilizada tem pH maior que 8, o que significa a presença de calcário dissolvido na água. Com base nestes autores, o afluente em estudo apresentou risco de entupimento de emissores de médio a alto e, o efluente, risco de baixo a médio. Os valores encontrados estão na Tabela 4.

Tabela 4: Resumo dos Valores de pH obtidos nos ensaios

pH	Ensaio com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaio com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
MEDIAS	6,93	7,04	6,93	7,09
Valor Máximo	7,65	7,65	8,10	7,95
Valor Mínimo	6,40	6,60	6,38	6,59

#### 5.4. Turbidez

Em termos gerais houve uma boa redução do grau de Turbidez da água após sua passagem pelo Filtro Lento. Os dados podem ser observados na Tabela 5 e na Figura 3.

Tabela 5: Resumo dos valores de Turbidez obtidos nos ensaios

Turbidez (NTU)	Ensaio com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaio com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
MEDIAS	10,22	3,69	14,64	4,16
Valor Máximo	66,00	29,30	106,00	27,80
Valor Mínimo	1,14	0,70	1,39	0,52

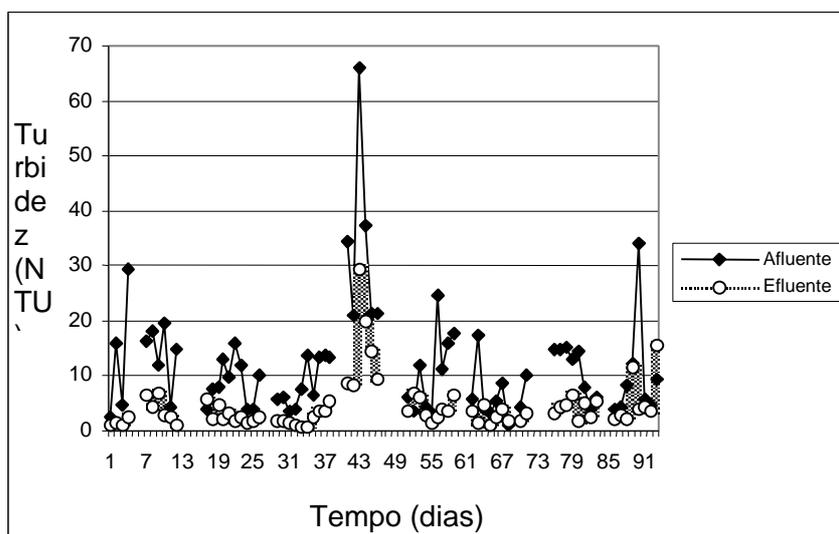


Figura 3: Valores de Turbidez obtidos no segundo ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

#### 5.5. Cor

A cor é resultante dos processos de decomposição provocados pela variação de íons metálicos, como ferro e magnésio, matéria orgânica decomposta, plâncton e partículas em suspensão. (CESP, 1998) Como neste estudo a água residuária é rica em todos os compostos citados acima, torna-se difícil diminuir drasticamente os valores para cor.

Também aconteceram ao longo do trabalho algumas descargas de poluentes incomuns no esgoto da Faculdade, alterando a composição e qualidade da água em todos os sistemas de

tratamento, como pode ser evidenciado nos valores máximos da tabela 6. Ainda assim, houve reduções significativas.

Os dados podem ser observados na Tabela 6 e na Figura 4.

Tabela 6: Valores de Cor para os Ensaio Realizados

Cor (UC)	Ensaio com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaio com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
MEDIAS	112,00	69,35	132,18	74,16
Valor Máximo	539,00	217,00	900,00	205,00
Valor Mínimo	32,00	11,60	41,00	32,00

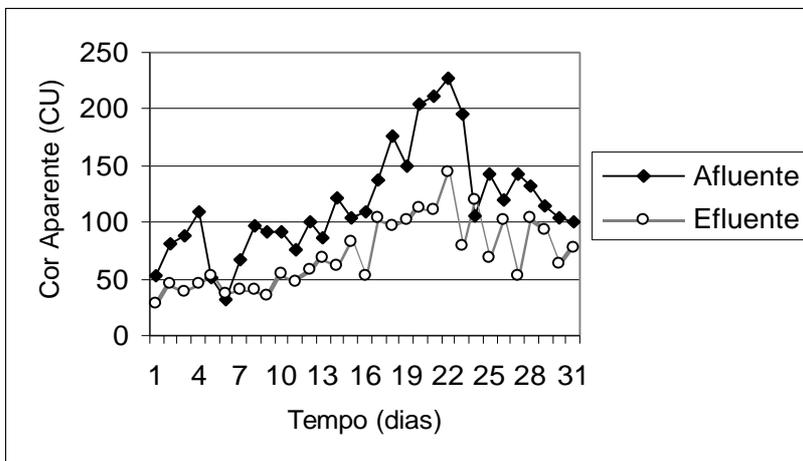


Figura 4: Valores de Cor obtidos no 1º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

### 5.6. Sólidos Suspensos Totais

Tanto o afluente como o efluente do Filtro Lento apresentaram valores baixos para sólidos suspensos totais, o que os torna, neste aspecto, adequados à irrigação. De acordo com Bucks et al (1979), valores inferiores a 50 ppm na água de irrigação apresentam risco baixo de obstrução de emissores.

Tabela 7: Valores de Sólidos Suspensos Totais para os Ensaios Realizados

Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Ensaios com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaios com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
MEDIAS	0,76	0,29	0,87	0,29
Valor Máximo	7,90	2,60	8,50	3,60
Valor Mínimo	0	0	0	0

### 5.7. Compostos de Fósforo e Nitrogênio

Estes elementos são importantes nutrientes para a agricultura. Portanto, sua presença na água para irrigação é desejável e diminui os gastos com adição de fertilizantes à água. Nota-se que o Filtro Lento não remove da água estes nutrientes, o que aumenta seu potencial de uso em águas para irrigação.

Tendo em vista que o afluente provém de águas residuárias, encontra-se vários compostos de fósforo e nitrogênio. De uma forma geral, a diferença de concentração do afluente para o efluente é pouca. Pelos gráficos das Figuras 5, 6, 7 e 8, observa-se uma possível tendência do Filtro Lento em reduzir os valores do afluente à medida em que há um amadurecimento do schmutzdeck. Pode-se observar também que em alguns casos há valores diferentes antes e depois dos finais de semana, quando o Filtro fica parado. Tal fato pode significar retenção ou liberação destes compostos por microrganismos existentes no Filtro Lento. De acordo com Metcalf e Eddy (1991), sob certas condições aeróbicas, os microrganismos podem reter mais fósforo do que o necessário e este pode ser liberado pelas células sob condições anóxicas. Os autores afirmam, ainda, que 10 a 30% do fósforo afluente é removido durante tratamento biológico secundário. Neste trabalho, houve redução de fósforo entre 2 e 5%.

Os valores encontrados para os compostos de fósforo estão apresentados na Tabela 8 e nas Figuras 5 e 6.

Para os compostos de Nitrogênio, houve pouca variação do afluente para o efluente. Estes parâmetro pode ser observado na Tabela 9 e nas Figuras 7 e 8.

Tabela 8: Valores dos compostos de Fósforo (mg/L) para os Ensaios Realizados

			P	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Ensaios com taxa de Filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Afluente	MÉDIAS	1,87	5,74	4,29
		Máximo	3,34	10,24	7,66
		Mínimo	0,10	0,20	0,20
	Efluente	MÉDIAS	2,01	6,16	4,60
		Máximo	3,26	9,96	7,44
		Mínimo	0,10	0,40	0,30
Ensaios com taxa de Filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Afluente	MÉDIAS	2,01	6,10	4,57
		Máximo	4,40	13,30	10,00
		Mínimo	0,80	2,38	1,79
	Efluente	MÉDIAS	1,90	5,93	4,33
		Máximo	3,60	11,90	8,10
		Mínimo	0,20	0,60	0,50

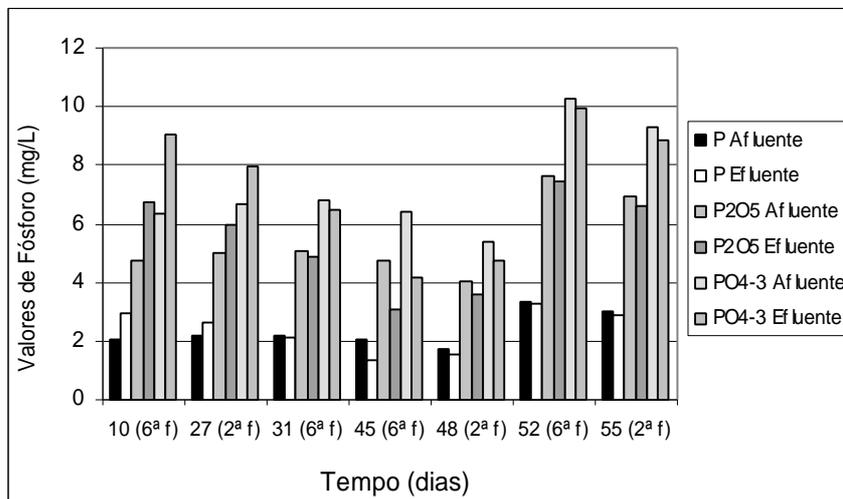


Figura 5: Valores de Fósforo obtidos no 3º ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

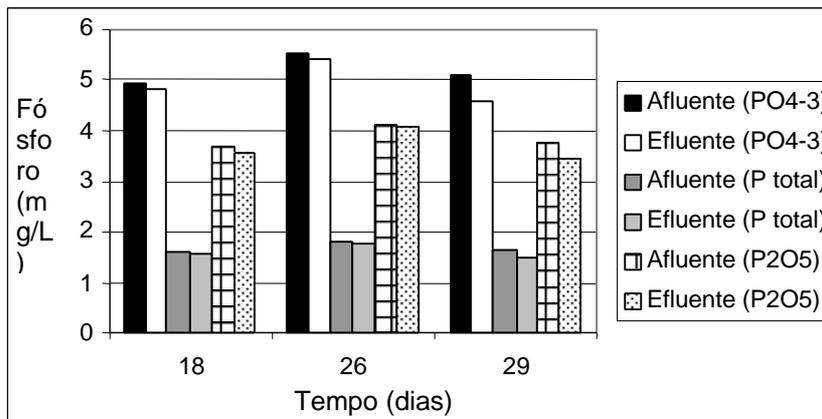


Figura 6: Valores de Fósforo obtidos no 2º ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

Tabela 9: Valores dos compostos de Nitrogênio (mg/L) para os Ensaios Realizados

			N	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Ensaios com taxa de Filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Afluente	MEDIAS	34,44	41,56	151,56
		Máximo	90	110	390
		Mínimo	20	24	88
	Efluente	MEDIAS	36,56	43,11	159,11
		Máximo	100	120	430
		Mínimo	20	24	92
Ensaios com taxa de Filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Afluente	MEDIAS	26,25	32,38	115,63
		Máximo	70	90	310
		Mínimo	10	12	42
	Efluente	MEDIAS	24,38	29,25	112,50
		Máximo	50	60	230
		Mínimo	10	12	44

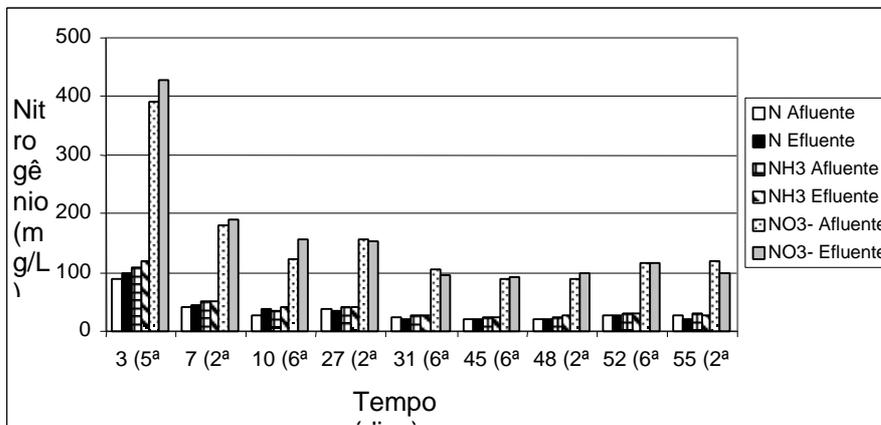


Figura 7: Valores de Nitrogênio obtidos no terceiro ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

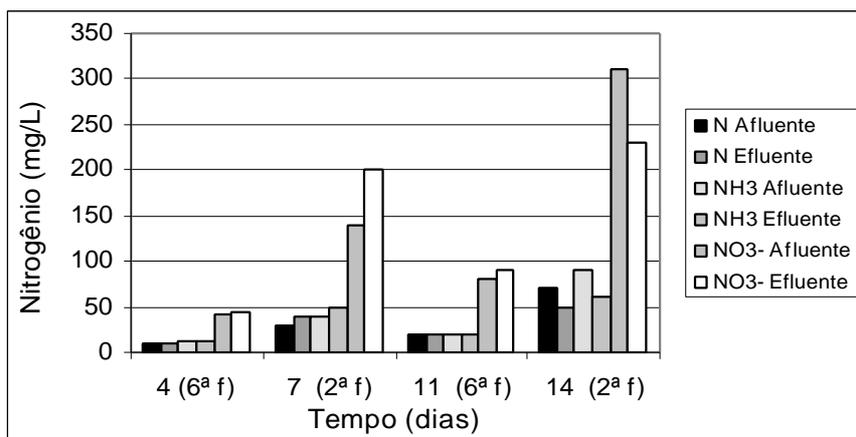


Figura 8: Valores de Nitrogênio obtidos no terceiro ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

## 5.8. Coliformes Totais e *E. coli*

Embora a redução de coliformes totais e *E. coli* pelo Filtro Lento tenha sido de 85% em média, ainda manteve-se altas concentrações destes microrganismos no efluente, o que indica alto potencial contaminante. Se esta água for empregada para efeito ornamental ou irrigação de culturas que não serão ingeridas "in natura", não haverá problemas. Contudo, se for usada para irrigação de hortaliças, mesmo com irrigação localizada, que reduz o contato da água com a cultura, um processo de desinfecção deve ser acrescentado para prevenir os riscos de contaminação por microrganismos patogênicos.

Os dados para Coliformes Totais estão dispostos na Tabela 9 e nas Figuras 9 e 10 e, para *E. coli*, na Tabela 10 e nas Figuras 11 e 12.

Tabela 10: Valores de Coliformes Totais para os Ensaio Realizados

Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Ensaio com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaio com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
MEDIAS	6.815.395,07	980.451,20	2.752.320,57	470.693,90
Valor Máximo	241.920.000,00	30.760.000,00	24.192.000,00	2.419.200,00
Valor Mínimo	2.419,20	1.510,00	34.192,00	970,00

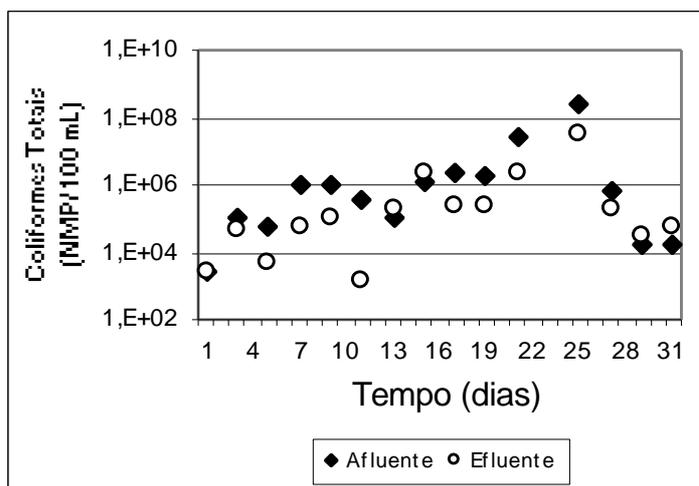


Figura 9: Valores de Coliformes Totais obtidos no primeiro ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

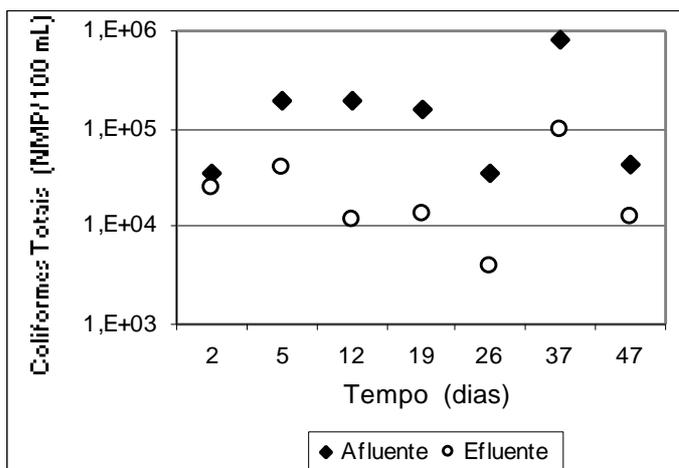


Figura 10: Valores de Coliformes Totais obtidos no primeiro ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

Tabela 11: Valores de *E. coli* para os Ensaio Realizados

<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	Ensaio com taxa de filtração de 3 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia		Ensaio com taxa de filtração de 6 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
MEDIAS	1.576.980,22	117.148,73	334.203,38	53.896,71
Valor Máximo	30.440.000,00	1.986.300,00	1.119.900,00	241.920,00
Valor Mínimo	2.000,00	399,00	7.230,00	200,00

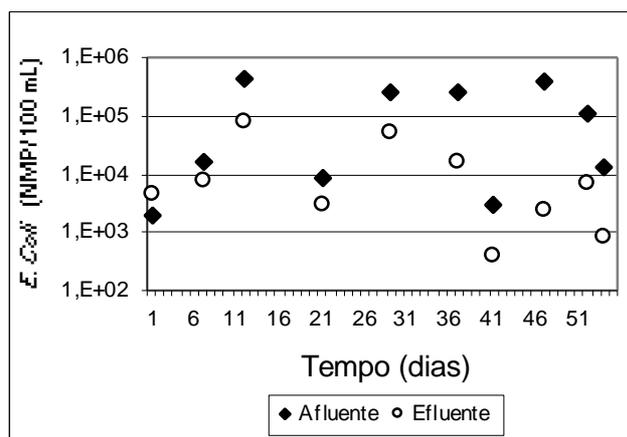


Figura 11: Valores de *E. coli* obtidos no terceiro ensaio com taxa de filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

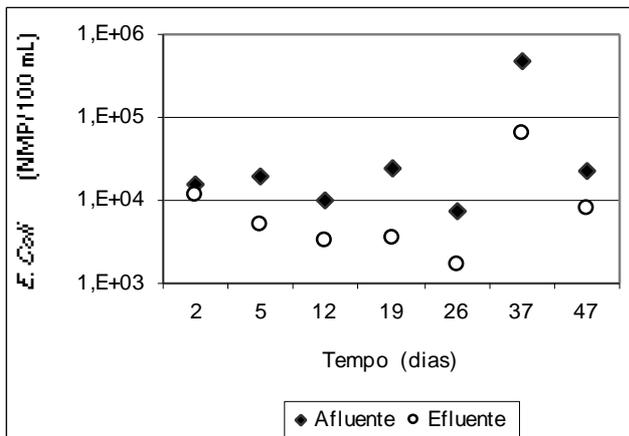


Figura 12: Valores de *E. coli* obtidos no primeiro ensaio com taxa de filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

### 5.9. Considerações Gerais

A concentração de Ferro e Manganês no afluente do filtro não é significativa, porque ambos, em grande parte, são removidos antes da passagem pelo filtro, ainda nos leitos cultivados. Houve um ligeiro aumento na concentração de ambos, no efluente, provavelmente por interferência da composição da areia utilizada no filtro lento, mas ainda assim mantiveram-se valores baixos. Matsura et al (1989) citam entupimentos de emissores decorrentes de sedimentos orgânicos associados à presença de ferro. Sob este aspecto, o efluente do Filtro Lento estaria adequado à irrigação localizada.

Embora o funcionamento do filtro não tenha sido contínuo, visto que ocorria falta de efluente dos leitos cultivados durante a noite, fins de semana e feriados, a eficiência do filtro lento não foi afetada, uma vez que o nível de água no interior do filtro sempre permanecia acima do leito filtrante, não deixando secar o schmutzdeck, o que seria prejudicial à eficiência do Filtro.

## 6. CONCLUSÕES

A filtração lenta é uma alternativa simples e eficaz para complementar o tratamento de águas residuárias, visando sua reutilização em atividades agrícolas. O sistema proporciona

uma eficiente redução de partículas sólidas em suspensão, minimizando, assim, o risco de obstrução de gotejadores, quando a água for usada para irrigação localizada.

Apesar da alta eficiência do Filtro Lento na remoção de coliformes totais e fecais, é recomendável que o efluente passe por um processo de desinfecção. Também é desejável a reaeração do efluente, o que pode ser conseguido projetando-se sua saída em forma de degraus.

O efluente do Filtro Lento apresenta valores adequados de pH, clorofila a, cor, turbidez, ferro, manganês, para reaproveitamento em irrigação localizada.

## **7. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FAPESP pela Bolsa de Mestrado concedida (Processo: 00/01511-9).

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

APHA; AWWA e WPCF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater., Washington D.C./USA: American Public Health Association, 1995, 19ª Edição

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

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S. E GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and a preventive maintenance. Agric. Water Manage, 2: 149-162, 1979.

CESP Conservação e Manejo nos Reservatórios: Limnologia, Ictiologia e Pesca. São Paulo: CESP, 1998. 166 p. Série Divulgação e Informação, 220

GEARHEART, R.A. The use of free surface constructed wetland as an alternative process treatment train to meet unrestricted water reclamation standards. Water Science And Technology, Vol. 40, n. 4-5, Pg. 375-382,1999.

GOPAL,B Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems Water Science And Technology, Vol. 40, n. 44, Pg. 9, 1999.

MATSURA, E.E.; TEXTEZLAF, R. e ALMEIDA NETO, J.A. Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 1989. Recife, p. 585-607.

METCALF; EDDY. Wastewater Engineering Treatment Disposal, Reuse. McGraw Hill, 3<sup>rd</sup> ed. 1991. Pags. 433-434.

NEWMAN, JM CLAUSEN, JC NEAFSEY, JA Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut Ecological Engineering Vol. 14, n. 74, Pg. 18; 2000.

NAKAYAMA, F.S. Water treatment. In: Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. Trickle irrigation for crop production - design, operation and management. Elsevier, Amsterdam, p. 164, 1986.

PATERNIANI, J. E. S. Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento. São Carlos, 1991. Tese (Doutorado).

VALENTIM, M.A.A. Uso de Leitões Cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado. Campinas: UNICAMP, 1999, 119 p. Dissertação (Mestrado).

WOOD, L.W. Chloroform-Methanol Extraction of Chlorophyll a. Com. J. Fisli. Aquat. Sci. Vol 42, 1985, p. 38-43.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Filtro Lento, objeto de estudo neste trabalho, apresentou efluentes com parâmetros físicos, químicos e biológicos mais adequados à reutilização em comparação com o afluente.

Este fato, juntamente com as características de simplicidade e baixo custo dos leitos cultivados e do Filtro Lento, fundamenta os benefícios destas tecnologias.

Espera-se que este trabalho possa contribuir para o tratamento de águas residuárias no meio rural e incentivar o reaproveitamento de efluentes.

## 8. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

- ✍ Análises biológicas detalhadas do afluente, efluente e schmutzdeck do Filtro Lento, com identificação dos microrganismos presentes e levantamento de sua influência nas características da água.
- ✍ Projeto e análise de um sistema de desinfecção para todo o efluente do Filtro Lento, ampliando as possibilidades de sua reutilização.
- ✍ Projeto e análise da saída do efluente do Filtro Lento (em cascata) de modo a propiciar a sua reaeração e posterior reutilização.
- ✍ Testes de condutividade elétrica no efluente para determinação da concentração de sais, principalmente se a água recuperada for utilizada para irrigação.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA; AWWA e WPCF. Standard Methods for the Examination of water and wastewater., Washington D.C./USA: American Public Health Association, 1995, 19ª Edição
- AZEVEDO NETTO, J.M. & HESPANHOL, I. Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água. Cap. 23: Filtração Lenta, São Paulo: CETESB, 1979, 20 ed., vol 2, p.869-882.
- BACHAND, PAM HORNE, AJ Denitrification in constructed free-water surface wetlands: I. Very high nitrate removal rates in a macrocosm study Ecological Engineering Nº 31 Vol. 14, 2000 Pg. 7
- BAHRI,A. Agricultural Reuse of Wastewater anda global water management. Water Science and Technology, vol 40, No. 4-5, pp. 339-346, 1999.
- BOLLMANN, H. A. (1987)– “Aplicação da Filtração Lenta na Remoção de Substâncias Contidas em Águas Superficiais.” São Carlos, , 178p. Dissert. (mest. hidr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- BONOMO, L. NURIZZO, C. and ROLLE, E. Advanced wastewater treatment anda reuse: related problems and perspectives in Italy. Water Science and Technology, vol. 40, No. 4-5, pp. 21-28, 1999.
- BRANCO, S.M. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária. 2ª ed. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978, p. 6.
- BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S. E GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and a preventive maintenance. Agric. Water Manage, 2: 149-162, 1979.
- CESP Conservação e Manejo nos Reservatórios: Limnologia, Ictiologia e Pesca. São Paulo, 1998. 166 p. Série Divulgação e Informação, 220

- COSTA, R. H. (1980)– “Estudos Comparativos da Eficiência de Filtros Lentos de Areia Convencional e de Fluxo Ascendente.” São Carlos, , 169p. Disert. (mest. hidr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- DECAMP,O, WARREN, A Investigation of Escherichia coli removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. Ecological Engineering 14: (1-2), 2000, pg. 9-15.
- DI BERNARDO, L. “Seminário sobre Pré-Filtração e Filtração Lenta de Águas de Abastecimento.” São Carlos, São Paulo. 1991, 167p.
- DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, vols. 1 e 2. ABES, Rio de Janeiro. 1993.
- DI BERNARDO, L. - Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro. 1999.
- FERRAZ, C.F. Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento. Dissertação de Mestrado, FEC/UNICAMP, março/2001.
- GEARHEART, R.A. The use of free surface constructed wetland as na alternative process treatment train to meet unrestricted water reclamation standards. Water Science And Technology, Vol. 40, n. 4-5, Pg. 375-382,1999.
- GOPAL,B Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems Water Science And Technology, N. 44 1999, Pg. 9 Vol. 40
- GRIFFIN, P. e UPTON, J. Constructed wetlands: A strategy for sustainable wastewater treatment at small treatment works. J. Chart. Inst. Water 13: (6) 441-446. 1999.
- HESPANHOL, I. (1969) -”Investigação sobre o Comportamento e Aplicabilidade de Filtros Lentos do Brasil.” São Paulo, , 163p. Tese (dout. hig. saúde pública), Faculdade de Higiene e Saúde Pública – USP.
- HERMANOWICZ, S.W. and ASANO, T. Abel Wolman’s “The Metabolism of cities” revisited: a case for water recycling anda reuse. Water Science and Technology, Vol. 40, No. 4-5, pp. 29-36, 1999.
- HUISMAN, L. “Research and Demonstration Project on Slow Sand Filtration.” Reprinted for the AIDIS Congress Health in Panama. 1982, 105p.

- KUUSEMETS, V e MANDER, U (Ecotechnological measures to control nutrient losses from catchments Water Science And Technology N. 23 Pg. 8 Vol. 40 IS 10, 1999.
- LOES, D.S.G. (1999) - "Determinação de Mantas não Tecidas Utilizadas em Filtros para Irrigação Localizada". Relatório Final de Iniciação Científica - FAPESP.
- MATSURA, E.E.; TEXTEZLAF, R. e ALMEIDA NETO, J.A. Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 1989. Recife, p. 585-607.
- MBWETTE, T. S. A. & GRAHAM, N. J. D. (1987)– "Improving the Efficiency of Slow Sand Filtration with Non-Woven Synthetic Fabrics." In: Filtration and Separation, vol. 24., p.46 – 50.
- MURTHA, N.A.; HELLER, L. (1999) - Avaliação da Eficiência da Filtração Lenta em Areia Segundo a Profundidade do Leito Filtrante. Anais: 20o. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro
- NAKAYAMA, F.S. Water treatment. In: Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. Trickle irrigation for crop production - design, operation and management. Elsevier, Amsterdam, p. 164, 1986.
- NEWMAN, JM CLAUSEN, JC NEAFSEY, JA Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut Ecological Engineering N. 74, , Pg. 18 Vol. 14. 2000
- PATERNIANI, J. E. S. "Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, 1991.
- SANCHEZ, L.D.; LATORRE, J.; GALVIS, G. (1999) - Comportamiento de la Poblacion de Algas y Protozoos Despues de la Limpieza de la Biomembrana en un Filtro Lento en Arena. Anais: 20o. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro.
- SODIS(2001) Documento eletrônico retirado da internet na página <http://www.sodis.ch>, em 17/10/01.
- SOUZA, J. T.; ARAÚJO, H.W.C.; CATUNDA, P.F.C. ( 1999) - Reuso de Esgotos Sanitários para a Agricultura. PROSSAB, CCT/UFPB, Campina Grande , PB

- TIMM,S.; SLADE,J.S.; FRICKER, C.R. Removal of *Cryptosporidium* by slow sand filtration. Water Science and Technology 31: (5-6), 81-84, 1995.
- U.S.E.P.A. Design Manual on Constructed Wetlands and aquatic plant systems for Municipal wastewater Treatment. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1988, 83 p.
- VALENTIM, M.A.A. Uso de Leitos Cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado. Campinas: UNICAMP, 1999, 119 p. Dissertação (Mestrado).
- VALENZUELA, M. G. R. (1991)– “Estudo do Desempenho de uma Instalação de Pré-Filtração Lenta com Mantas para o Tratamento de Águas de Abastecimento.” São Carlos, , p. Dissert (mest. hydr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- VARECHE, M. B. A. (1989)– “Estudo sobre a Interferência de Algas no Sistema de Filtração Lenta em Areia.” São Carlos, , 417p. Dissert (mest. hydr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- YODANOV, RV, MELVIN, MAL, Law, SP, Littlejohn, J, Lamb, AJ Effect of ozone pre-treatment of colored upland water on some biological parameters of sand filters Ozone-Science & Engineering, 21,p. 14 VL 21 IS 6, 1999.
- WOOD, R.B. e McATAMNEY,C.F. Constructed Wetlands for Wastewater treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal. Hydrobiologia, vol. 340, 1996, p. 323-331.

## APÊNDICE

Tabela 6: Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados em ensaios com taxa de Filtração de 3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

<b>Comparações entre os Ensaios Realizados com taxa de Filtração de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia</b>						
<b>Cor (UC)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	116,839	71,742	116,143	67,886	103,02	68,42
Máximo	227	144	539	217	149	100
Mínimo	32	28	37	29	67	11,6

<b>Turbidez (NTU)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	11,38	3,92	12,12	4,48	7,15	2,67
Máximo	38,90	10,40	66,00	29,30	13,60	5,20
Mínimo	1,52	1,43	1,14	0,70	2,67	1,18

<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	0,63	0,23	0,45	0,25	1,2	0,4
Máximo	3,20	0,80	1,60	2,20	7,9	2,6
Mínimo	-	-	-	-	0	0

<b>Ferro (mg/L)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	1,38	1,81	0,94	1,33	0,86	0,33
Máximo	2,35	2,98	2,10	3,02	0,92	0,53
Mínimo	0,18	0,44	0,20	0,20	0,80	0,12

<b>Manganês (mg/L)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	0,11	0,30	0,10	0,16	0,12	0,08
Máximo	0,15	0,43	0,15	1,12	0,12	0,10
Mínimo	0,05	0,02	0,07	0,09	0,11	0,06

<b>pH</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	6,89	6,98	7,02	7,12	6,89	7,02
Máximo	7,50	7,50	7,65	7,65	7,36	7,32
Mínimo	6,40	6,60	6,52	6,77	6,63	6,80

**Temperatura (°C)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	26,93	24,68	28,55	27,33	27,26	25,38
Máximo	38,00	31,00	45,00	36,00	39,5	33
Mínimo	19,00	17,00	19,00	20,50	19	16

**Oxigênio Dissolvido (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	2,32	2,60	1,46	1,40	2,43	2,174
Máximo	3,76	4,87	3,87	2,57	3,4	3,6
Mínimo	1,24	1,01	0,14	0,14	1,72	1,58

**PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	x	x	5,736	6,16
Máximo	x	x	x	x	10,24	9,96
Mínimo	x	x	x	x	0,20	0,40

**P (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	x	x	1,87	2,01
Máximo	x	x	x	x	3,34	3,26
Mínimo	x	x	x	x	0,10	0,10

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	x	x	4,291	4,602
Máximo	x	x	x	x	7,66	7,44
Mínimo	x	x	x	x	0,20	0,30

**N (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	x	x	34,44	36,56
Máximo	x	x	x	x	90	100
Mínimo	x	x	x	x	20	20

**NH<sub>3</sub> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	x	x	41,56	43,11
Máximo	x	x	x	x	110	120
Mínimo	x	x	x	x	24	24

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	x	x	x	x	151,56	159,11
Máximo	x	x	x	x	390	430
Mínimo	x	x	x	x	88	92

**DBO<sub>5</sub> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	x	x	x	x	98	84
Máximo	x	x	x	x	131	145
Mínimo	x	x	x	x	30	13

**DQO (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	x	x	x	x	76,98	76,35
Máximo	x	x	x	x	145,2	240,8
Mínimo	x	x	x	x	46,17	38,77

**E. coli (NMP/100 mL)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	4.168.965,00	164.657,50	414.985,65	169.897,70	146.990	16.891
Máximo	30.440.000,00	686.700,00	1.565.000,00	1.986.300,00	435.200	75.550
Mínimo	22.820,00	2.280,00	3.130,00	630,00	2.000	399

**Coliformes Totais (NMP/100mL)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	18.342.401,30	2.451.647,95	1.750.783,91	451.710,65	353.000	37.995
Máximo	241.920.000,00	30.760.000,00	14.136.000,00	4.884.000,00	1.413.600	155.310
Mínimo	2.419,20	1.510,00	12.100,00	2.280,00	12.100	1.610

Tabela 7: Valores médios, máximos e mínimos dos parâmetros analisados em ensaios com taxa de Filtração de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia

<b>Comparações entre os Ensaios Realizados com taxa de Filtração de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia</b>						
<b>Cor (UC)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	109	66	127,44	64,28	160,1	92,19
Máximo	900	148	352	198	550	205
Mínimo	41	32	50	32	75	54

<b>Turbidez (NTU)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	9,50	3,13	17,02	3,74	17,40	5,60
Máximo	106,00	12,30	88,60	27,80	55,80	15,90
Mínimo	1,39	0,74	3,17	0,52	5,12	2,11

<b>Sólidos Suspensos Totais (mg/L)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	0,69	0,08	0,50	0,30	1,41	0,48
Máximo	8,50	0,70	1,60	0,80	5,90	3,60
Mínimo	0	0	0	0	0	0

<b>Ferro (mg/L)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	1,20	1,04	1,32	1,45	1,80	1,42
Máximo	1,57	1,60	1,93	1,80	2,01	2,17
Mínimo	0,83	0,45	0,70	1,09	1,59	0,67

<b>Manganês (mg/L)</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	0,10	0,11	0,16	0,15	0,17	0,21
Máximo	0,11	0,12	0,19	0,17	0,17	0,25
Mínimo	0,09	0,09	0,12	0,13	0,16	0,17

<b>pH</b>						
	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
Média	7,00	7,14	6,95	7,10	6,84	7,02
Máximo	8,10	7,95	7,30	7,48	7,46	7,75
Mínimo	6,75	6,86	6,38	6,59	6,53	6,68

**Temperatura (°C)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	28,30	28,20	23,70	23,60	23,34	23,34
Máximo	39,00	35,00	33,50	31,00	29,00	28,00
Mínimo	22,00	23,00	18,00	18,00	16,00	15,00

**Oxigênio Dissolvido (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	1,51	1,53	1,38	1,20	1,27	1,24
Máximo	2,63	2,72	2,16	1,95	2,60	3,50
Mínimo	0,75	0,38	0,65	0,75	0,30	0,17

**PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	5,17	4,95	7,035	6,91
Máximo	x	x	5,5	5,42	13,3	11,9
Mínimo	x	x	4,92	4,61	2,38	0,6

**P (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	1,69	1,61	2,32	2,195
Máximo	x	x	1,8	1,77	4,4	3,6
Mínimo	x	x	1,61	1,5	0,8	0,2

**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	3,86	3,70	5,2875	4,9675
Máximo	x	x	4,10	4,05	10	8,1
Mínimo	x	x	3,68	3,45	1,79	0,5

**N (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	20	18,75	32,5	30
Máximo	x	x	24	21	70	50
Mínimo	x	x	16	15	10	10

**NH<sub>3</sub> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	24,25	23	40,5	35,5
Máximo	x	x	29	26	90	60
Mínimo	x	x	20	18	12	12

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	x	x	88,25	84,00	143	141
Máximo	x	x	105,00	94,00	310	230
Mínimo	x	x	72,00	66,00	42	44

**DBO<sub>5</sub> (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	33,04	21,62	19,73	11,57	90,80	38,70
Máximo	47,4	45,6	33,2	17,9	90,80	38,70
Mínimo	16	6,8	12,2	5,9	90,80	38,70

**DQO (mg/L)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	74,5024	57,254	x	x	119,09	78,69
Máximo	78,1985	63,4142	x	x	253,10	181,70
Mínimo	70,8063	51,0939	x	x	38,77	38,77

***E. coli* (NMP/100 mL)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	83.950,14	13.964,14	542.320,00	70.764,00	376.340,00	76.962,00
Máximo	488.400,00	64.880,00	1.046.200,00	241.920,00	1.119.900,00	198.630,00
Mínimo	7.230,00	1.730,00	72.000,00	4.100,00	12.200,00	200,00

**Coliformes Totais (NMP/100mL)**

	Primeiro Ensaio		Segundo Ensaio		Terceiro Ensaio	
	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Média	211.761,7	29.391,71	6.759.460	1.067.784	1.285.740	314.906
Máximo	816.400	98.040	24.192.000	2.419.200	3.654.000	1.046.200
Mínimo	34.192	3.840	749.000	9.700	72.700	970