

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CATHERINE YURIKO SHIGEOKA

**Filtração Lenta em Escala Domiciliar Operada em Fluxo Contínuo como
Alternativa de Tratamento de Água para Comunidades Isoladas do Brasil**

São Carlos/SP

2016

CATHERINE YURIKO SHIGEOKA

**Filtração Lenta em Escala Domiciliar Operada em Fluxo Contínuo como
Alternativa de Tratamento de Água para Comunidades Isoladas do Brasil**

Trabalho de Graduação apresentado a Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Engenheira Ambiental

Orientadora
Prof^a Dr^a. Lyda Patricia Sabogal Paz

São Carlos/SP

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Shigeoka, Catherine Yuriko
5555f Filtração Lenta em Escala Domiciliar como
Alternativa de Tratamento de Água para Comunidades
Isoladas do Brasil / Catherine Yuriko Shigeoka;
orientadora Lyda Patricia Sabogal Paz; coorientador
Paulo Marcos Faria Maciel. São Carlos, 2016.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2016.

1. tratamento alternativo de água. 2. comunidades
isoladas. 3. filtração lenta. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Catherine Yuriko Shigeoka**

Data da Defesa: 24/10/2016

Comissão Julgadora:

Resultado:

Lyda Patricia Sabogal Paz (Orientador(a))

Aprovada

Paulo Marcos Faria Maciel

Aprovado

Luiz Antonio Daniel

APROVADA



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

À Lyda Patricia Sabogal Paz, pela oportunidade de pesquisa, conhecimento e crescimento acadêmico.

Ao Paulo Marcos Faria Maciel, pela paciência e pelos ensinamentos ao longo do acompanhamento do meu projeto de Iniciação Científica.

Aos meus pais, Marli e Horacio, por todo o apoio e carinho dados desde que ingressei no curso de Engenharia Ambiental.

A toda a minha família, pela confiança e pelo apoio.

A todos os meus professores, pelos ensinamentos dados dentro e fora da sala de aula.

Aos amigos que fiz na UNESP Rio Claro e UNICAMP, que me proporcionaram momentos inesquecíveis e me ensinaram muitas coisas.

Aos colegas e principalmente aos amigos de turma, que estiveram comigo desde o início do curso e com os quais tive momentos inesquecíveis na graduação.

Aos amigos que eu fiz dentro da AIESEC, que foi a organização que me fez enxergar o mundo de outra forma e me proporcionou uma das experiências mais intensas da minha vida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo Auxílio à Pesquisa Regular (Processo nº 2014/12712-8) que forneceu os recursos necessários à pesquisa.

A Universidade de São Paulo pela bolsa institucional de iniciação científica concedida, vigência 2015/2016.

RESUMO

SHIGEOKA, C. Y. **Filtração Lenta em Escala Domiciliar como Alternativa de Tratamento de Água para Comunidades Isoladas do Brasil**. 2016. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

A dificuldade de acesso à água de boa qualidade em comunidades isoladas está relacionada principalmente à baixa utilização de métodos adequados de tratamento de água para a população. Os métodos convencionais não são propícios uma vez que são complexos e extremamente difíceis de serem implementados nessas comunidades. Por esse motivo, ao longo dos últimos anos vários estudos têm sido feitos para avaliar a eficácia de tratamentos alternativos. Um desses tratamentos é a filtração lenta em escala domiciliar (FLD), desenvolvida pelo Dr. Manz em 1990, que consiste em um filtro de areia em uma estrutura de concreto, o qual forma uma camada biológica denominada *schmutzdecke* que é responsável pelo tratamento principal. Neste estudo, o objetivo principal foi avaliar uma adaptação desse filtro, proposta por Magalhães e Sabogal Paz (2013), utilizando materiais mais baratos, de modo a tornar essa tecnologia realmente acessível às comunidades brasileiras. Avaliou-se, portanto, a eficiência de um filtro lento em escala domiciliar com operação contínua na remoção de turbidez, cor e *Escherichia coli*. Analisaram-se também outros parâmetros, tais como pH e condutividade elétrica. Adotou-se a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde como referência para avaliar o desempenho da unidade. Como resultado, constatou-se que a tecnologia avaliada apresenta eficiência na remoção de turbidez e cor; porém, não na remoção de *E. coli*, sendo necessária a desinfecção. Isso ocorreu provavelmente devido à camada biológica, que não se desenvolveu de maneira satisfatória. Assim, é possível concluir que são precisos mais estudos de modo que o filtro atinja os requisitos estabelecidos pela legislação sobre a potabilidade da água no Brasil. Destaca-se que a pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo nº 2014/12712-8).

Palavras chave: tratamento alternativo de água, comunidades isoladas, filtração lenta.

ABSTRACT

SHIGEOKA, C. Y. **Household Slow Sand Filtration as an Alternative Water Treatment for Isolated Communities in Brazil**. 2016. Monograph (Undergraduate Work in Environmental Engineering) - São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2016.

The difficulty to access good quality water in isolated communities is mainly related to the low usage of adequate methods of water treatment for the population. The conventional methods are not propitious because they are complex and extremely difficult to be implemented in these communities. For this reason, during the last years many researches have been made to evaluate the efficacy of alternative treatments. One of these treatments is the Biosand Filter (BSF), developed by Dr. Manz (2007), which consists of a sand filter in a concrete structure that creates a biological layer called *schmuzdecke*, which is responsible for the main treatment. In yhis study, the main objective was to evaluate an adaptation of this filter, proposed by Magalhães and Sabogal Paz (2013), using lower cost materials, in order to make this technology accessible to the Brazilian communities. Therefore, a slow sand filter with continuous operation was evaluated for its efficiency in removing turbidity, color and *E. coli*. Other parameters were also analyzed, such as pH and conductivity. For the potability standards, we used the “Portaria 2914/2011” of the Health Ministry for the analysis of performance. As a result, we found that the evaluated technology presents a good efficiency in removing turbidity and color, but not in removing *E. coli*, being necessary the addition of a disinfectant. This probably occurred due to the biological layer, which did not develop adequately. Therefore, it is possible to conclude that more studies are necessary so that the filter reaches the potability standards. It is also important to emphasize that the research was financed by Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Process number 2014/12712-8).

Keywords: alternative water treatment, isolated communities, slow filtration.

SUMÁRIO

1. Introdução e Justificativa	8
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo Geral.....	10
2.2. Objetivos Específicos.....	10
3. Revisão de Literatura	11
3.1. Transferência de Tecnologia	23
3.2. Saneamento Rural em Pequenas Comunidades.....	11
3.3. Saneamento no Meio Urbano e Rural	13
3.4. Filtração Lenta	14
3.5. Filtração Lenta em Escala Domiciliar	15
3.5.1. Funcionamento do Sistema	15
3.5.2. Experiências com Filtração Lenta em Escala Domiciliar.....	17
3.5.3. Remoção de Microrganismos na Filtração Lenta em Escala Domiciliar	18
3.5.4. Especificação de Meios Filtrantes para Filtração Lenta em Escala Domiciliar	20
3.5.5. Outros Usos da Filtração Lenta.....	21
4. Material e Métodos	25
4.1. Construção do Filtro Lento em Escala Domiciliar – FLD	25
4.2. Preparo e Disposição dos Materiais Granulares.....	26
4.3. Ensaios Granulométricos.....	28
4.3.1. Características do Meio Filtrante	28
4.3.2. Massa Específica dos Sólidos.....	29
4.3.3. Compacidade Relativa.....	29
4.4. Ensaios Preliminares de Funcionamento do FLD	30
4.5. Ensaios em Laboratório.....	30
5. Resultados e Discussão	32
5.1. Construção do Filtro Lento em Escala Domiciliar e Custo Associado	32
5.2. Características da Areia Fina Utilizada	33
5.2.1. Ensaios Granulométricos.....	33
5.2.2. Massa Específica dos Sólidos.....	34
5.2.3. Compacidade Relativa.....	36
5.3. Ensaios Preliminares do Funcionamento do Sistema.....	37
5.4. Resultados das Análises em Laboratório.....	38
5.4.1. pH.....	38
5.4.2. Condutividade Elétrica	39
5.4.3. Turbidez	41
5.4.4. Cor Aparente	44
5.4.5. Escherichia coli	45
6. Conclusões	48
7. Bibliografia	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição de camadas de materiais granulares para: a) Modelo de filtro de concreto de CAWST, 2009, e b) modelo de PVC construído.....	26
Figura 2. Areia passando pelo separador mecânico para homogeneização (procedimento do ensaio granulométrico).....	28
Figura 3. Areia no recipiente para a determinação de compactidade relativa	30
Figura 4. Curva granulométrica da areia fina utilizada	34
Figura 5. Gráficos <i>Box Plot</i> do valor de pH na entrada e na saída do FLD entre fevereiro e julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha mais grossa representa a mediana.	39
Figura 6. Gráficos <i>Box Plot</i> do valor de condutividade na entrada e na saída do FLD entre fevereiro e julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha mais grossa representa a mediana.	40
Figura 7. Gráficos <i>Box Plot</i> do valor de turbidez na entrada e na saída do FLD nos meses de fevereiro a julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha mais grossa representa a mediana.	41
Figura 8. Valores de turbidez da água filtrada antes e após a manutenção da camada filtrante, realizada no dia 12 de maio de 2016.	42
Figura 9. Valores de turbidez da água de estudo e da água filtrada conforme o tempo de operação.	43
Figura 10. Variação da turbidez ao longo de todos os dias de operação do filtro. A linha tracejada indica o dia em que o FLD entrou em manutenção.	43
Figura 11. Gráficos <i>Box Plot</i> da cor na entrada e na saída do FLD nos meses de março e julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha azul representa a mediana.	45
Figura 12. Variação do número de colônias de <i>E. coli</i> em 100 mL de água na entrada e saída do filtro ao longo do período de operação do filtro.....	46
Figura 13. Remoção de colônias de <i>E. coli</i> em 100 mL (em log) de água na entrada e saída do filtro ao longo do período de operação do filtro.....	46

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Abastecimento de água por domicílios na área urbana e rural do Brasil.....	14
Tabela 2. Materiais utilizados na construção do FLD contínuo	25
Tabela 3. Limites granulométricos de camadas e subcamadas do FLD e peneiramento dos materiais granulares	27
Tabela 4. Análises realizadas na pesquisa.....	30
Tabela 5. Custos do FLD sem considerar mão de obra (julho de 2015)	32
Tabela 6. Valores encontrados no experimento da massa específica dos sólidos para a areia fina analisada.....	35
Tabela 7. Valores encontrados no experimento de compactação relativa da areia fina analisada	36

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água é um recurso indispensável para todos. Entretanto, nem todos têm acesso a ela, e os que têm nem sempre possuem este recurso disponível com a qualidade necessária. Segundo um levantamento global realizado pela UNICEF (Fundo das Nações Unidas para a Infância) e pela Organização Mundial da Saúde (World Health Organization – WHO, 2015), cerca de 2,4 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso a serviços de saneamento básico e água potável.

O cenário nacional também é alvo de preocupações. Segundo dados da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PSNB, 2008), 99,4% dos municípios analisados tinham serviço de abastecimento de água em pelo menos um distrito. Entretanto, ainda segundo essa pesquisa, 7,1% da água distribuída no país não recebe nenhum tipo de tratamento. A maior parte dos municípios que carece desse serviço de saneamento básico encontra-se no Nordeste (IBGE, 2011).

Para as pessoas que vivem em comunidades isoladas, a situação é ainda pior, já que o acesso às redes de abastecimento de água é limitado e, portanto, exige soluções independentes (NADRUZ, 1979).

A filtração lenta é uma alternativa que tem sido muito estudada ao longo dos últimos anos e tem se mostrado eficiente na remoção de microrganismos, além da turbidez e outros parâmetros. De acordo com Huisman (1974), este tipo de tratamento é uma tecnologia antiga e consiste basicamente de um reservatório, onde se coloca, de baixo para cima, uma camada de pedregulho, areia grossa e areia fina. Acima dessas camadas, tem-se uma camada de água, que é responsável por promover o funcionamento do filtro descendente. Além disso, há um conjunto de válvulas para regular a taxa de filtração do filtro. No meio filtrante, há a formação de uma camada biológica, a qual é a principal responsável pela remoção dos microrganismos e contaminantes presentes na água.

Esse tipo de tratamento tem se desenvolvido por meio de estudos, até que na década de 90, o Dr. Manz propôs a filtração lenta em escala domiciliar (FLD), denominada *Biosand Filter* - (BSF). Este, que também pode ser chamado de biofiltro, consiste de um filtro que tem como a biofiltração como processo de remoção de impurezas de um fluido, utilizando-se agentes biológicos para isso. Uma das diferenças entre esse biofiltro e o filtro lento é que neste há a necessidade de se fazer uma raspagem de cerca de 2,0 cm da camada superficial de areia, fazer a lavagem da mesma

e estocá-la para recolocá-la no filtro posteriormente (PATERNIANI & ROSTON, 2003). No biofiltro, essa limpeza é feita agitando-se no máximo 1,0 cm da superfície do meio filtrante e retirando a água acima dela após a sedimentação da areia e assim, retira-se a água com o material suspenso com o uso de um copo ou concha (MANZ, 2007).

O biofiltro, em sua composição original, é feito de concreto. Dentro dele, sobrepõem-se uma camada de pedregulho, uma de areia grossa e outra de areia fina, como no filtro convencional. Nos filtros convencionais e FLDs, a camada biológica se forma de 1 a 2 cm da superfície de areia, e especificamente nos FLDs forma-se uma zona biológica a 5-10 cm da superfície da areia (CAWST, 2009).

A granulometria do meio filtrante também é importante para o funcionamento adequado do biofiltro. Existem valores de diâmetro efetivo e coeficiente de uniformidade associados ao desempenho na literatura científica. Entretanto, apesar de os ensaios granulométricos serem de fundamental importância para a construção dos biofiltros, a realização desses ensaios em comunidades isoladas é complicada, devido ao difícil acesso e poucos recursos disponíveis. Por isso, a utilização de materiais de fácil obtenção, como areia de construção, é uma alternativa que necessita ser estudada.

Além disso, devido à necessidade de desenvolver tecnologias de tratamento de água que sejam de baixo custo e de fácil manuseio, também é necessário pensar em alternativas para reduzir gastos para a construção de FLDs. É por esse motivo que este estudo visou utilizar materiais mais baratos e de fácil obtenção para os biofiltros, para que sejam mais acessíveis às comunidades isoladas.

Neste contexto, o presente trabalho teve como intuito a investigação do desempenho de um filtro lento em escala domiciliar construído com materiais de PVC e contendo meio filtrante proveniente de areia de construção civil. O modelo estudado teve uma proposta inovadora de alimentação contínua controlada por boia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Investigar o desempenho de um filtro lento em escala domiciliar operado em fluxo contínuo, adaptado à realidade brasileira, na remoção de turbidez, cor e *Escherichia coli*.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Construir e estimar o custo do filtro testado em escala plena; e
- ✓ Avaliar o desempenho do filtro na remoção das variáveis de interesse e comparar os resultados aos valores estabelecidos pelo padrão de potabilidade brasileiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Saneamento Rural em Pequenas Comunidades

A água sempre foi um bem indispensável para o homem e todos os seres vivos. Na antiguidade, as principais civilizações se estabeleciam próximas aos rios para abastecer suas populações. O Egito Antigo, por exemplo, desenvolveu-se no entorno do rio Nilo, o que levou o historiador Heródoto a afirmar que “o Egito é uma dádiva do Nilo”. Esta frase não é nenhum exagero, já que, graças a esse rio, essa importante civilização conseguiu desenvolver diversas atividades, tais como a agricultura, pecuária e locomoção e transporte de cargas (ALBUQUERQUE, 2012).

Uma pequena quantidade de água é suficiente para os cuidados básicos de uma pessoa (beber e comer); porém, essa quantidade aumenta à medida que ela passa a ser utilizada para outros fins, como cuidados de higiene, limpeza da casa, entre outros (IRC, 2002). Esse recurso, se não for tratado, armazenado e distribuído de maneira adequada, pode ocasionar uma série de doenças, e geralmente as populações mais pobres são as que mais sofrem com isso, já que não têm acesso a tratamentos adequados e carecem de investimentos em saneamento.

Desse modo, essas pessoas, além de não disporem de água de boa qualidade, também não têm acesso à quantidade desse recurso necessária para os cuidados básicos de higiene, potencializando a disseminação de doenças relacionadas à água. Segundo a ONU, estima-se que 3,5 milhões de pessoas morrem por ano devido a problemas relacionados ao fornecimento de água, à falta de saneamento e à ausência de políticas de higiene (MIDIA CONSULTE, 2013).

As pequenas comunidades existentes no mundo possuem características bem diferentes entre si. Enquanto algumas possuem populações mais dispersas e se baseiam na economia de subsistência, outras são maiores e mais desenvolvidas economicamente (IRC, 2002). A partir disso, percebe-se que cada comunidade, devido às suas particularidades, possui demandas específicas em relação à água.

Segundo a WHO (2012), as pequenas comunidades estão mais propensas a sofrerem com contaminações microbiológicas e surtos de doenças infecciosas, tanto em países desenvolvidos quanto em países subdesenvolvidos. Assim, nota-se a necessidade de realizar um planejamento detalhado ao instalar um sistema de abastecimento de água seguro para essas populações.

Nos Estados Unidos, por exemplo, em 2000 declarou-se que o país estava enfrentando uma crise no sistema de abastecimento de água devido às más condições da infraestrutura, ocasionando desperdício e necessitando de um investimento de 1 trilhão de dólares em 20 anos. Entretanto, esse problema não atingia apenas as grandes cidades, como as pequenas comunidades também. Estas, por não disporem de recursos, não tinham como investir na melhoria da infraestrutura de saneamento para as suas populações, como é o caso de uma comunidade localizada no estado de Michigan. Além disso, afirma-se que em locais como esses, os operadores das estações de tratamento geralmente são mal pagos e não possuem conhecimento técnico suficiente para exigir novas demandas para a melhoria dos sistemas (GASTEYER & KONG, 2010).

No Canadá, um dos grandes desafios das comunidades rurais é de tratar a água dos lençóis freáticos, os quais contêm quantidades de compostos orgânicos e inorgânicos, o que faz com que a concentração de sólidos dissolvidos totais seja muito alta. Desse modo, o país tem investido no desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água envolvendo a remoção biológica desses compostos para assegurar uma qualidade melhor do recurso, assim como nas grandes cidades canadenses (PETERSON et al, 2007).

No Brasil, o maior problema na questão do saneamento para pequenas comunidades é a falta de investimentos. Além disso, o isolamento dessas comunidades dificulta muito o acesso à água de boa qualidade. Entretanto, há exemplos que mostram que é possível implantar sistemas eficientes de saneamento. No Ceará, a CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) iniciou um empreendimento denominado SISAR (Sistema de Integração do Saneamento Rural), o qual atende 615 comunidades isoladas no estado, beneficiando 350 mil moradores, e que se tornou referência no saneamento rural. Esse projeto foi feito em parceria com o banco alemão KfW e gerencia sistemas de abastecimento de água em comunidades rurais em conjunto com os próprios habitantes. Segundo O Estado, ele consiste em um sistema compartilhado, no qual a CAGECE implanta e monitora os sistemas de abastecimento de água e auxiliam no planejamento estratégico, criam metas e orientam na área comercial de modo a tornar os SISARs independentes. Estes são ONGs que realizam a manutenção do sistema e treinam os operadores de cada localidade. Esse modelo mostra que é possível implantar um sistema de abastecimento compartilhado em pequenas comunidades, desde que todas as partes atuem efetivamente no projeto, e serve de exemplo inclusive para vários países do mundo (MACHADO, 2014; PEREIRA, 2013).

3.2. Saneamento no Meio Urbano e Rural

Os sistemas de abastecimento de água no Brasil têm melhorado gradativamente nas últimas décadas. Entretanto, é notável a disparidade entre as diferentes regiões do país. As regiões Sul e Sudeste são as mais favorecidas nesse sentido, ao passo que as regiões Norte e Nordeste são as menos favorecidas. Esse fato se associa principalmente à desigualdade econômica social existente entre as regiões brasileiras.

Ao analisar o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) das diversas regiões do Brasil, nota-se uma significativa disparidade entre elas. Esse índice avalia a qualidade de vida da população, e mostra que as regiões Norte e Nordeste são as que têm um índice de desenvolvimento inferior se comparados às outras regiões do país (FREITAS, 2015). Isso se deve principalmente a um histórico de concentração econômica sustentada em uma divisão regional de trabalho, gerando uma grande desigualdade e menor poder de investimento das regiões menos favorecidas (NETO, 1997). É importante salientar também que há um baixo investimento em saneamento básico nas regiões Norte e Nordeste, ocasionando altos custos para a saúde pública e uma pior qualidade de vida para a população (CAMPOS, 2013).

Ao se analisar as diferenças entre o meio urbano e o meio rural, a situação é ainda mais preocupante, e não só na questão do saneamento. Segundo o censo realizado em 2010 pelo IBGE (2011a), a taxa de analfabetismo na área rural é três vezes maior que na área urbana. Esse é um cenário preocupante, pois acaba desencadeando problemas em outras áreas, como na saúde pública e na educação.

Na Tabela 1 é possível analisar a diferença entre o sistema de abastecimento de água na área urbana e rural do país. Nota-se que no meio urbano, a quantidade de domicílios ligados à rede é três vezes maior que no meio rural. Assim, por esse motivo percebe-se que na área rural a utilização de outras formas de abastecimento é mais intensa do que na área urbana.

Tabela 1. Abastecimento de água por domicílios na área urbana e rural do Brasil

Área	Número total de domicílios	Domicílios ligados à rede			Outras formas		
		Com canalização interna (%)	Sem canalização interna (%)	Total (%)	Com canalização interna (%)	Sem canalização interna (%)	Total (%)
Urbana	57.641.000	93,37%	0,50%	93,87%	5,11%	1,02%	6,13%
Rural	9.398.000	30,33%	3,09%	33,41%	46,57%	20,02%	66,59%
Total	67.039.000	84,53%	0,87%	85,40%	10,92%	3,68%	14,60%

Fonte: IBGE -PNAD 2014

Devido ao contexto preocupante mencionado anteriormente, em 2013, o Governo Federal aprovou o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), o qual estabelece diretrizes, metas e ações de saneamento básico para o Brasil entre 2014 e 2033, com um investimento de em torno de R\$508 bilhões (PLANSAB, 2011). Porém, as propostas e projetos têm se mostrado fragmentados, e não há um modelo de organização ou um plano nacional de saneamento rural (PINEDA, 2013). Assim, fica clara a importância de maior investimento nessa área e, evidentemente, ainda existem muitos desafios a serem superados.

As comunidades isoladas, que são loteamentos ou núcleos habitacionais, geralmente localizadas em áreas periféricas de cidades ou comunidades de difícil acesso, têm ainda mais dificuldades de obter serviços de saneamento básico, o que torna as formas alternativas de saneamento as soluções mais convenientes para resolver essa questão (ABES, 2011).

3.3. Filtração Lenta

Segundo Huisman (1974), a filtração lenta é um método antigo de tratamento de água que data do início do século XIX, quando o escocês John Gibb montou o primeiro filtro de areia experimental em Paisley, na Escócia. Em 1829, esse método foi adotado pela primeira vez para atender à população, em Londres. Entretanto, somente em 1892 é que foi comprovada a eficiência desse método na remoção de patógenos. Isso porque haviam duas cidades vizinhas, Hamburg e Altona, as quais captavam água do mesmo

rio, rio Elbe. A diferença é que a segunda filtrava toda a água do rio para a população, enquanto a primeira não. Desse modo, Hamurg sofreu com uma epidemia de cólera que matou cerca de 7500 pessoas, ao passo que em Altona, isso não ocorreu.

A filtração lenta é um sistema de tratamento simples, já que é de fácil construção e operação, além de não necessitar de coagulantes ou produtos químicos (DI BERNARDO, 1999). Ela é lenta, pois as taxas de filtração são baixas, levando a um aumento no tempo de detenção hidráulica, favorecendo a atividade biológica, e com isso, contribui para a desinfecção da água a ser tratada (DI BERNARDO, 1999). O mecanismo da filtração se dá pela passagem de água pelo filtro. Ao longo dessa passagem, as impurezas entram em contato com a superfície da areia no topo, onde, posteriormente, forma-se a camada biológica (ou *schmutzdecke*), a qual é responsável pela remoção de patógenos e contaminantes da água. Essa camada pode demorar alguns dias até semanas ou meses para se formar (HUISMAN, 1974; PROSAB, 1999).

Esse método se espalhou rapidamente pela Europa e América, porém logo perdeu espaço para outras tecnologias de tratamento de água e devido à deterioração das águas de mananciais, a qual limitou a sua aplicabilidade (MURTHA et al, 1997). Apesar disso, nos últimos anos o interesse por essa técnica tem se intensificado em vários países, como Colômbia, Índia, Holanda Inglaterra e Estados Unidos, principalmente em cidades menores, devido à necessidade de grandes áreas de implantação (MURTHA et al, 1997; DI BERNARDO, 2005).

No Brasil, a filtração lenta chegou a ser instalada em algumas cidades até a década de 60, porém a maioria das instalações teve que ser reformada e convertida a sistemas convencionais, com filtração rápida e coagulação química (DI BERNARDO, 2005). O país, apesar de apresentar um elevado número de pequenos municípios, vilas e comunidades locais, ainda insiste em adotar técnicas convencionais para o tratamento de água (MURTHA et al, 1997). Mais de 35 milhões de pessoas não têm acesso ao abastecimento de água, e a partir disso tem-se uma noção do potencial da aplicabilidade do método de filtração lenta (MURTHA et al, 1997).

3.4. Filtração Lenta em Escala Domiciliar

3.5.1. Funcionamento do Sistema

A filtração lenta em escala domiciliar, se comparada à filtração em escala comunitária, é mais vantajosa, pois requer menos recursos e é mais simples de ser

implementada e administrada (MANZ, 2007). Foi devido a isso que o Dr. David Manz desenvolveu o chamado *Biosand Filter* (BSF) ou Filtro Lento Domiciliar (FLD) na década de 1990, que se tornou em um tratamento de água bastante utilizado no mundo. Este sistema é de uso intermitente e permite a remoção de patógenos e turbidez da água (BAKER et al, 2006).

Os mecanismos de ação do FLD são bem parecidos àqueles das Estações de Tratamento de Água – ETA que utilizam a filtração lenta. A filtração lenta de uso coletivo, por outro lado, é de uso contínuo é mais complexa, no sentido de que necessita de pessoas capacitadas para a construção e operação e possuem custo mais elevado (MANZ, 2007; ITACA, 2005).

O contêiner do filtro em escala domiciliar pode ser feito de concreto, plástico ou qualquer material que seja impermeável, não-tóxico e que não enferruje (CAWST, 2009). Dentro deste, coloca-se, de baixo para cima, cascalhos grossos, areia média e areia fina, todos lavados (CAWST, 2009). Acima da camada de areia fina, deve-se ter água a uma altura de mais ou menos 5,0 cm (CAWST, 2009). É importante salientar que a água a ser tratada deve apresentar baixa turbidez. A água coletada na saída do filtro deve ser desinfetada com cloro, e deve ser armazenada em algum reservatório limpo (CAWST, 2009).

Uma importante diferença entre a filtração lenta tradicional e a filtração lenta em escala domiciliar é a sua operação de limpeza. Nos filtros lentos tradicionais, ela é feita por meio de uma raspagem da camada superior de areia (cerca de 2,0 cm), sua lavagem e posterior recolocação (PATERNIANI & ROSTON, 2003). A desvantagem disso é que, após a limpeza, é necessário esperar alguns dias para que a camada biológica se forme novamente (WELL, 2004). Na filtração lenta em escala domiciliar, a camada superficial não precisa ser retirada, basta agitar vigorosamente o meio filtrante com a mão ou uma escova, até 1,0 cm da superfície. Depois disso, a areia é sedimentada em pouco tempo e retira-se a água com o material suspenso com uma concha ou um copo (MANZ, 2007).

A operação da FLD é regida por um importante parâmetro denominado tempo de pausa, que é o período em que a água fica armazenada nos poros do meio filtrante entre cada alimentação em batelada, permitindo que os agentes biológicos da *schmutzdecke* consumam os patógenos e nutrientes presentes na água (CAWST, 2009). Recomenda-se um tempo de pausa entre 1h e 48h (CAWST, 2009).

Young-Rojanschi e Madramootoo (2015) fizeram um experimento, avaliando a eficiência de FLDs com tempos de residência de 24h, 48h e 72h. Eles concluíram que não houve uma diferença significativa na remoção de *E. coli*. Entretanto, observou-se que os tempos de pausa mais longos levaram a uma redução na concentração de oxigênio dissolvido e a um aumento na concentração de nitrito.

O manuseio do filtro intermitente é bem simples, bastando apenas colocar água no topo do filtro à medida que há necessidade. Recomenda-se a utilização do filtro duas vezes por dia, e a taxa de filtração de máximo 9,6 m³/m².d, de acordo com o manual CAWST (2009).

A operação dos FLDs também pode ser realizada de modo contínuo, conforme indicado por Young-Rojanschi e Madramootoo (2014). Eles compararam dois filtros (um contínuo e um intermitente). Nos dois casos, os filtros piloto foram alimentados com 2L de água por dia, durante 60 dias. Concluiu-se que a redução de todos os parâmetros analisados foi maior para o biofiltro operado continuamente, ou seja, este foi mais eficiente na remoção de *E. coli*, MS2 (um bacteriófago que infecta *E. coli* e outros membros do *Enterobacteriaceae*) e turbidez.

3.5.2. Experiências com Filtração Lenta em Escala Domiciliar

Vários estudos já foram conduzidos visando avaliar a eficiência da filtração lenta em escala domiciliar, em comunidades isoladas em países em desenvolvimento como Haiti, Nicarágua e República Dominicana. Esses estudos analisaram, além disso, a adaptação das comunidades a essa tecnologia e as dificuldades apresentadas.

Entre 1999 e 2004, foram instalados cerca de 2000 biofiltros de areia pela Divisão do Desenvolvimento da Comunidade do Hospital Albert Schweitzer, no Vale do rio Artibonite, no Haiti (BAKER et al, 2006). O grupo de pesquisa coletou informações de 110 casas (das quais três não estavam com os filtros funcionando), nas quais foram realizadas entrevistas, observações e coletas de água (água não filtrada, água filtrada e água do contêiner de armazenamento) para análise. Destas amostras, 80% não apresentaram presença de *E. coli*, em 17% haviam entre 1 e 10 UFC/100 mL e nos 3% restantes haviam mais de 10 UFC/100 mL. De modo geral, houve remoção de 98,5% das bactérias presentes na água não filtrada. Porém, houve recontaminação após o tratamento, como foi observado pelas amostras de água dos contêineres de armazenamento. Em 23% delas haviam mais de 10 UFC/100 mL, sendo que em 6% tiveram mais de 100 UFC/100 mL.

Em 2009, Fiore et al (2010) realizaram um estudo similar em vilas nos arredores de *San Juan del Sur*, na Nicarágua, em 199 casas, das quais 154 tinham biofiltros de areia em funcionamento. O procedimento para esse estudo foi semelhante ao anterior, utilizaram-se questionários e foram realizadas coletas de água (água não filtrada, água filtrada e água do contêiner de armazenamento) para análise. Apesar dos biofiltros terem diminuído a quantidade de *E. coli* em 74% dos casos, em apenas 17% houve redução para menos de 10 UFC/100 mL. A recontaminação também foi um problema e reduziu a eficiência do processo em 48%. Dentre as casas que descontinuaram o uso dos filtros, as principais causas para tal foram: i) sem acesso a areia para reposição, ii) infestação de formigas, e iii) gosto desagradável da água.

Em 2011, realizou-se esse estudo em *Bonao*, na República Dominicana (AIKEN et al, 2011). Das 328 casas analisadas, aproximadamente 10% não utilizavam mais os biofiltros, por diversos motivos (gosto desagradável da água, quebra das unidades, etc.). Das casas que ainda continuaram usando os biofiltros, em 75% delas houve diminuição da quantidade de *E. coli* para menos de 10 UFC/100 mL. Além disso, houve baixa redução de turbidez na água filtrada em 29,5% delas, devido às características iniciais da água bruta, a qual já apresentava um valor baixo para esse parâmetro.

3.5.3. Remoção de Microrganismos na Filtração Lenta em Escala Domiciliar

Pelas experiências com filtração lenta em escala domiciliar citadas anteriormente, é possível concluir que essa tecnologia tem trazido muitos resultados positivos para as comunidades, e possui grande potencial e aplicabilidade em países como o Brasil.

De acordo com Manz (2007), os biofiltros de areia e os filtros lentos tradicionais removem 100% dos parasitas presentes na água se a camada biológica ou *schmutzdecke* estiver bem desenvolvida. Nesta mesma condição, espera-se a remoção de 90 a 99% de bactérias e vírus. Devido a esses fatores, estudos têm demonstrado que a utilização desse método causa uma diminuição significativa na incidência de diarreia e diversas doenças infecciosas ocasionadas pela água não tratada.

Wang et al (2014) realizaram um experimento para investigar a influência de certas características do filtro (profundidade, amadurecimento e período de pausa) na remoção de vírus. Além disso, utilizaram técnicas genômicas para caracterizar as comunidades microbianas presentes na camada biológica, de modo a analisar as suas funções na redução desses vírus. Os filtros foram alimentados com 12L de água

diariamente, com aproximadamente 10^7 UFP MS2/MI (Unidades Formadoras de Placas por MI). Os resultados desse experimento mostram que, após o amadurecimento do filtro, a redução de vírus da água coletada atingiu os padrões do EPA (*Environmental Protection Agency*) de $4\log_{10}$. Isso mostra a importância do *schmutzdecke* na remoção desses organismos.

Jenkins et al (2011) realizaram um experimento para avaliar a eficiência do biofiltro de areia em reduzir bactérias, vírus e turbidez. Esse experimento foi feito em 3 blocos de filtros (18 biofiltros no total), com dois tipos de areia (uma com $d_{10} = 0,17$ mm e outra com $d_{10} = 0,52$ mm, para simular de locais onde só haveria esse tipo de areia mais grossa), e tempos de pausa diferentes também. De maneira geral, notou-se uma redução de 96% de coliformes fecais, 71% do bacteriófago MS2 e 89% de turbidez. O biofiltro com areia mais fina e tempo de residência (período de pausa) maior mostrou ser o mais eficiente para a remoção dos coliformes fecais. O biofiltro com areia mais grossa em mesmo tempo de residência foi mais eficiente na remoção de vírus.

A preocupação em relação à presença de fármacos nas águas tem crescido ao longo dos últimos anos e isso tem levado a uma mudança no comportamento de várias espécies e microrganismos. Foi por isso que D'Alesso et al (2015) fizeram um estudo para identificar a influência dessas substâncias na camada biológica e a capacidade do biofiltro de areia em removê-las. Para isso, construíram-se dois FLDs com 57 cm de diâmetro e 88 cm de altura. Um era alimentado com água do córrego de Manoa com 1% de efluente primário e o outro apenas com água do córrego. Os compostos utilizados no estudo foram cafeína, carbamazepina, 17- β -estradiol (E2), estrona (E1), gemfibrozil e fenazona, as quais foram adicionadas às águas de estudo. Antes de iniciar o experimento em si, os filtros foram usados por aproximadamente um ano para a observação na remoção de bactérias, garantindo o pleno desenvolvimento do *schmutzdecke*. Após esse período, essas camadas foram removidas e posteriormente reestabelecidas com a alimentação dos filtros com as águas de estudo, inicialmente sem a adição dos compostos, para a formação de novas camadas biológicas. Desse modo, foi possível coletar as amostras para análise. Com isso, verificou-se um aumento significativo da abundância de Proteobacteria na camada biológica (de 30% a 99%), ao passo que a abundância de Bacteroidetes caiu de 37% para 1%. Verificou-se então uma notável redução na eficiência de remoção de coliformes totais e *E. coli* nos dois filtros montados. Em relação aos fármacos adicionados na água de estudo, concluiu-se que

houve remoção total de cafeína, remoção parcial de 17- β -estradiol (E2) e estrona (E1), baixa remoção de carbamazepina, gemfibrozil e fenazona (< 10%).

A porosidade da areia é um importante parâmetro quando se discute remoção de microrganismos em biofiltros. Napotnik e Jellison (2014) fizeram um experimento com 12 filtros (4 de concreto, 4 de baldes de 18,9L e 4 de baldes de 7,6L). Nesse experimento, os biofiltros foram transportados de um local para outro (cerca de 1 km de distância) de modo a analisar a influência disso sobre a remoção de microrganismos (no caso, *E. coli*). Mesmo antes de transportar os biofiltros, a remoção de *E. coli* foi bem elevada. Após o transporte, houve redução da porosidade da areia devido à compactação do solo, resultando em remoção ainda mais alta em todos os biofiltros analisados.

Outro fator importante a ser considerado é a temperatura sob a qual o filtro fica exposto. Arnold et al (2016) realizaram um estudo no qual avaliaram doze FLDs idênticos, os quais foram distribuídos em ambientes controlados, de diferentes temperaturas, que variavam de 4 a 30° C, ao longo de 66 dias. Durante os primeiros 36 dias, os filtros foram colocados lado a lado em um laboratório a 18° C, e foram alimentados cada um com um litro de água de um rio localizado próximo ao local, misturada com um pouco de esgoto bruto. Após esse período, os filtros foram separados em quatro grupos, os quais foram colocados em locais com temperaturas variadas, de 4, 12, 18 e 27° C. No 64° dia de experimento, 2 filtros de cada grupo foram escolhidos aleatoriamente para serem congelados, descongelados e posteriormente foram colocados de volta em seus respectivos laboratórios. Comparando os filtros, notou-se que a eficiência na remoção de coliformes totais e *E. coli* diminuiu com a queda de temperatura nos primeiros dias. Entretanto, após 16 dias, a remoção desses microrganismos voltou a crescer, até atingir a eficiência de remoção dos filtros colocados em ambientes mais quentes, possivelmente devido à adaptação do FLD à nova temperatura imposta. Os filtros que foram congelados, por sua vez, apresentaram uma queda no desempenho na remoção de microrganismos.

3.5.4. Especificação de Meios Filtrantes para Filtração Lenta em Escala Domiciliar

Para o dimensionamento de um filtro, é necessário primeiro ter o conhecimento sobre a granulometria do material a ser utilizado. Esta por sua vez é definida como o estudo da distribuição das dimensões dos grãos do solo, e no caso do filtro, é a areia. Para isso, determina-se a curva granulométrica da mesma, por meio de peneiras padronizadas.

Este tipo de ensaio é fundamental, uma vez que a granulometria exerce uma forte influência na filtração da água a ser tratada, alterando a qualidade da mesma. A partir dele, é possível determinar o coeficiente de uniformidade (CU), que é a relação entre os tamanhos dos grãos correspondentes às porcentagens de 60% e 10% (em massa) que passam pela peneira. Quanto menor for esse valor, mais uniforme é o material granular, e assim, maior será a penetração de impurezas e maior é a duração da carreira de infiltração. De acordo com Di Bernardo et al (1999), esse coeficiente deve estar entre 2 e 5. Há também o tamanho efetivo (D_{10}), que é o tamanho (em mm) da peneira que retém 10% do peso total da areia. Di Bernardo et al (1999) recomendam que esse valor seja de 0,15 mm a 0,3 mm.

Entretanto, Chan et al (2015) fizeram um experimento com areia grossa ao invés de areia fina. Utilizou-se uma areia com $D_{100} < 1,68$ mm, que é o tamanho (em mm) da peneira que retém 100% do peso total da areia, e mostraram que a remoção de patógenos ocorreu de maneira eficiente, independentemente da vazão do filtro.

Outro fator importante para a construção de um filtro de areia é a geometria dos grãos. Quanto maior é a irregularidade dos mesmos, maior é a probabilidade de captura de partículas livres, ou seja, os grãos de formato angular tendem a apresentar melhor desempenho na filtração (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008).

Há ainda o índice de vazios, que é a relação entre o volume de vazios e volume de sólidos da areia. Isso se relaciona diretamente com a compactidade relativa, que determina o grau de compactação do leito. A compactidade de um solo granular pode ser classificada qualitativamente pelas expressões: fofa, medianamente compacta e compacta (ALMEIDA, 2004). A partir disso, é possível determinar a permeabilidade do solo e o volume de água que ficará retido no filtro.

3.5.5. Outros Usos da Filtração Lenta

Em 2015, Pfannes et al analisaram a eficiência do *schmutzdecke* na remoção de *E. coli* e *Enterococcus* em água residuária, para utilização da mesma na irrigação agrícola e para banho. Para isso, construíram três filtros de alimentação contínua com 5 cm de diâmetro e 210 cm de altura. Além disso, foram feitos diversos pontos de coleta para análise da água em diferentes alturas dos filtros (2cm acima, e 5, 10 e 25 cm abaixo da superfície de areia). Desse modo, coletaram amostras de 100 mL água dos filtros montados e analisaram essas amostras por meio das técnicas de membranas filtrantes e cultura *plate-based*. Diluíram-se as amostras de modo a obter 10 a 50 colônias por

placa. Como resultado, obteve-se uma remoção de 97,4 a 99,4% de *E. coli* e 98,1 a 99,5% de *Enterococci* nos primeiros dois filtros, atendendo às recomendações da WHO (2015) de $<10^3$ UFC/100 mL para água de irrigação e <500 UFC/100 mL para água de banho.

Linlin et al (2011) utilizaram a filtração lenta em conjunto com outras duas tecnologias (osmose reversa e ozonização) para o tratamento de águas subterrâneas em zonas para recarga. Para esse estudo, a água usada era o efluente secundário da Estação de Tratamento de Esgoto de Gaobeidian. O filtro lento utilizado tinha 0,25 de diâmetro, 2 m de altura e foi preenchido com areia de tamanho 0,4 a 0,8 mm. No sistema montado, a água do primeiro passava por um reator de ozonização, o qual aplicava uma dosagem de 0,6 a 1,0 $\text{mgO}_3\text{mg}^{-1}$ DOC de ozônio. Em seguida, ela passava pelo biofiltro de areia com grãos de tamanho 0,4 a 0,8 mm e ao final pelo equipamento de nanofiltração, o qual aplicava uma pressão de 400 kPa e um fluxo de 4,0 L/min. Como resultado, concluiu-se que a combinação dos três tipos de tratamento remove de maneira eficiente compostos orgânicos dissolvidos e trihalometanos potenciais de formação. Além disso, esse processo mostrou-se eficiente de diferentes compostos orgânicos. A ozonização quebra as moléculas aromáticas grandes em pequenos fragmentos, acelerando a biodegradação deles no biofiltro. Assim, a nanofiltração consegue remover de maneira mais eficiente os compostos ácido-húmicos e ácido-fúlvicos.

De outubro de 2007 a novembro de 2010, Corral et al (2014) conduziram um experimento no qual analisaram a viabilidade de se utilizar a osmose reversa para a dessalinização da água e comparando a utilização da microfiltração e filtração lenta como pré-tratamento, na remoção de turbidez, índice de densidade de sedimentos (SDI), volume tratado entre limpezas e proteção a jusante. Foram utilizados dois filtros lentos, os quase foram preenchidos com areia de sílica, com d_{10} de 0,34 mm e coeficiente de uniformidade de 1,7. Para a microfiltração utilizou-se o MEMCOR 3M10C Microfiltração Contínua, que contém três módulos de filtração e uma porosidade de 0,2 μm . Concluiu-se que o desempenho da osmose reversa foi mais estável utilizando a microfiltração como pré-tratamento, pois este apresentou valor de SDI inferior a 3 em 95% das análises, ao passo que o filtro lento apresentou esse valor em apenas 71% dos casos. Além disso, quando o pré-tratamento mudou da filtração lenta para a microfiltração, notou-se uma melhora em relação à formação de incrustações que diminuía a permeabilidade da membrana da osmose reversa.

3.5. Transferência de Tecnologia

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), transferência de tecnologia é um processo em que uma determinada técnica, que foi desenvolvida em determinado contexto (com características econômicas, sociais, culturais e ambientais específicas), é implantada em outro local, e necessita de adaptações para ser inserida. Estas adaptações, no entanto, não consistem apenas em utilizar outros equipamentos e materiais, mas também em adaptar a tecnologia às condições socioculturais do destino da mesma.

Na indústria, os empreendimentos relacionados à otimização de processos produtivos são, em sua maioria, operados, mantidos e administrados por sistemas organizacionais eficientes e capacitados, e, portanto, geralmente não têm problemas no processo de transferência de tecnologia (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008). Entretanto, no setor de saneamento, principalmente em pequenas comunidades, a transferência de tecnologia, na maioria dos casos, é um processo mais difícil, pois geralmente cria-se um conflito entre os usuários e a nova técnica implantada, já que ela impõe novas regras (VALENCIA, 2000). A partir disso, constata-se a importância de dar um enfoque maior à questão sociocultural do empreendimento.

Há vários exemplos de implantações de tecnologias de saneamento que não levaram em consideração as condições locais da comunidade de destino. Assim, em muitos casos o investimento acaba sendo um fracasso, pois esta deixa de usar a nova técnica ou nem mesmo a utiliza. O que dificulta nesses casos muitas vezes é a falta de diálogo entre o governo ou ONG que deseja implantar a tecnologia e a comunidade afetada. Fica clara, portanto, a necessidade de conscientizar a comunidade acerca da importância do tratamento da água e fornecer todas as informações necessárias sobre o empreendimento.

Entretanto, segundo o CINARA (1997), um dos principais desafios é conseguir fazer com que as comunidades introduzam as técnicas de tratamento de água em sua cultura, transformando-a em um valor cultural local. Como muitas vezes não há um diálogo eficiente, como mencionado anteriormente, as populações afetadas se veem obrigadas a adaptarem seus costumes, hábitos e crenças, sem ao menos ter o poder de escolha e controle social sobre a tecnologia inserida. Desse modo, a transferência de tecnologia só será aceitável quando ambas as partes (governo/ONG e comunidade) estiverem de acordo. Além disso, deve-se também saber selecionar a tecnologia, de modo a obter uma solução eficaz para o problema encontrado na comunidade. Os cursos

voltados para a área de saneamento geralmente dão um enfoque maior às grandes cidades. Assim, ao se depararem com pequenas comunidades, os projetistas acabam não conseguindo adotar a melhor decisão para o local (QUIROGA & VISSCHER, 1999).

Outro fator importante a ser considerado são as experiências com a tecnologia a ser implantada em outras localidades. No caso do filtro lento em escala domiciliar, há diversos estudos realizados em países como a República Dominicana e o Haiti, e na maior parte dos casos, os resultados com a transferência desse tratamento alternativo foram satisfatórios (AIKEN et al, 2011; FIORE et al, 2010). Porém, no Brasil, não há estudos sobre isso. Ademais, existem muitas comunidades isoladas que carecem de sistemas de tratamento de água no país e uma técnica como essa pode ser a solução para muitas famílias brasileiras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Construção do Filtro Lento em Escala Domiciliar – FLD

A construção do FLD foi baseada no modelo inovador proposto por Magalhães e Sabogal Paz (2013). O filtro foi construído com tubulações e conexões de PVC, material diferente ao indicado em CAWST (2009). Na Tabela 2 está apresentada a relação de materiais utilizados na construção de um FLD.

Tabela 2. Materiais utilizados na construção do FLD

Tampa	Tampa de caixa sifonada DN250
	Porta tampa de caixa sifonada DN250
Corpo do filtro	100 cm de tubulação branca DN250
	Caixa sifonada 250x50
Tubulação de saída	Luva de redução branca 50x40 (e anel de vedação de 50mm)
	6 cm de tubulação branca DN40
	Joelho 90° branco DN 40
	70 cm de tubulação branca DN40
	Joelho 90° branco DN40
	6 cm de tubulação branca DN40
	Joelho 90° branco DN40
	Luva de redução branca 50x40
	3 cm de tubulação branca DN50
	Redução excêntrica 75x50
	5 cm de tubulação branca DN75
	Cap branco DN75
	Registro de saída
Nipel roscável 1/2"	
Registro em esfera metálico 1/2"	
Espigão de latão 1/2" x 1/2"	

Após completa montagem do FLD e aguardado período de secagem da cola adesiva, preencheu-se o filtro com água para investigar eventuais ocorrências de vazamentos nas conexões. Em seguida, o filtro ficou apto para receber os materiais granulares.

O presente modelo de FLD estudado recebeu o acréscimo de uma boia visando manter o nível máximo de água constante. A unidade foi alimentada por um reservatório elevado.

4.2. Preparo e Disposição dos Materiais Granulares

A concepção do FLD foi realizada com a instalação de duas camadas: i) camada filtrante, e ii) camada suporte, conforme modelo de CAWST (2009) da Figura 1a. No filtro testado na pesquisa, a camada filtrante foi composta somente por areia fina de construção civil, extraída na cidade de Analândia/SP e adquirida em estabelecimento comercial de São Carlos/SP. A camada suporte foi composta por três subcamadas: i) areia grossa de construção civil de mesma origem da areia fina; e ii) pedregulho fino e pedregulho grosso, ambos coletados de material suporte destinado às estações de tratamento de água. A distribuição e espessura das camadas são apresentadas na Figura 1b. A camada suporte possui uma estratificação a mais que o modelo de CAWST (2009), visando sustentar eficientemente a areia fina dentro da unidade.

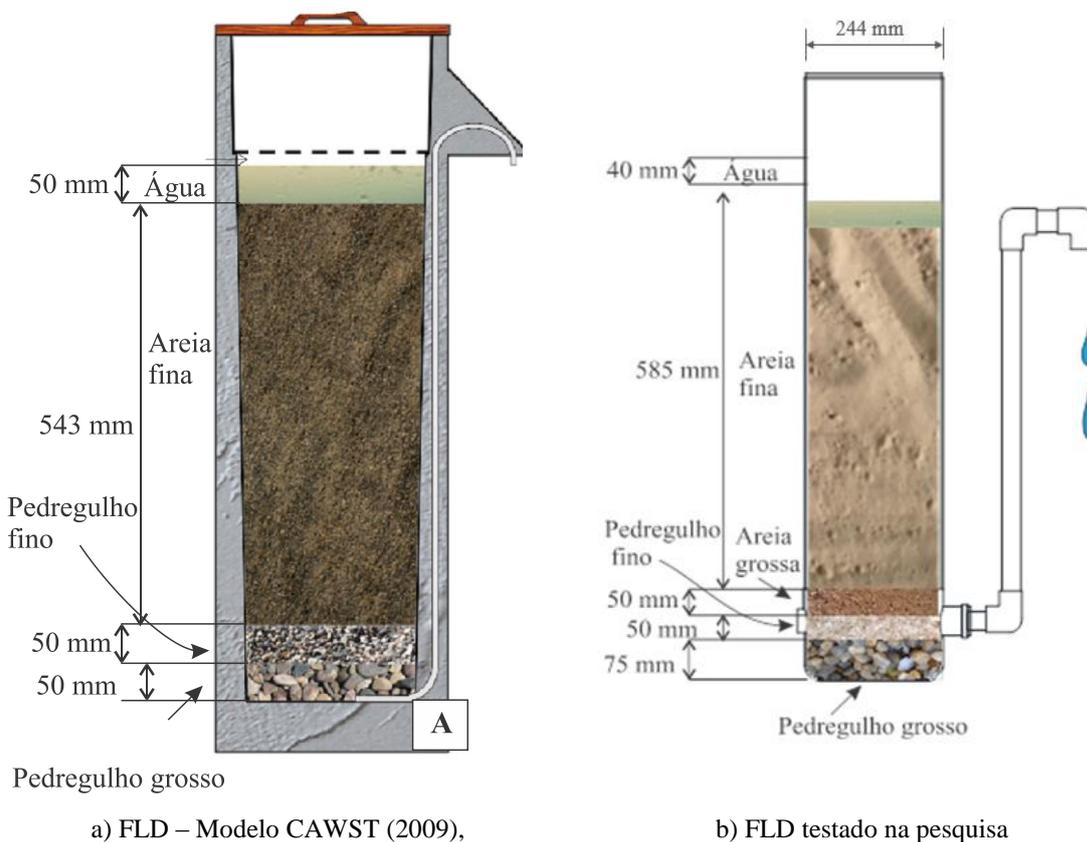


Figura 1. Distribuição de camadas de materiais granulares para: a) Modelo de filtro de concreto de CAWST, 2009, e b) modelo de PVC construído.

Todos os materiais granulares foram lavados em baldes até que a água de lavagem se apresentasse visualmente límpida e com turbidez em torno de 10 NTU. Este procedimento segue recomendações de CAWST (2009), com exceção da lavagem da areia fina, a qual considera uma turbidez maior, porém o manual CAWST não explica o porquê disso. Na pesquisa priorizou-se a lavagem completa como medida de segurança microbiológica. Os volumes consumidos foram registrados. Após a lavagem, os materiais granulares foram espalhados em lonas plásticas e deixados ao sol até secarem. Em seguida, realizou-se o peneiramento dos materiais granulares. Na Tabela 3 é indicado o limite granulométrico da camada de meio filtrante e subcamadas de meio suporte, bem como o peneiramento realizado para este fim.

Tabela 3. Limites granulométricos de camadas e subcamadas do FLD e peneiramento dos materiais granulares

Camada	Subcamada	Granulometria	Peneiramento
Meio filtrante	Areia fina	$\emptyset < 1 \text{ mm}$	Material que passou por peneira de fubá
	Areia grossa	$1 \text{ mm} < \emptyset < 2 \text{ mm}$	Retido entre peneira de arroz e de fubá
Suporte	Pedregulho fino	$2 \text{ mm} < \emptyset < 5,5 \text{ mm}$	Retido entre peneira de café e de arroz
	Pedregulho grosso	$12 \text{ mm} < \emptyset < 15 \text{ mm}$	Retido entre tela metálica e tela plástica.

Posteriormente, com os materiais granulares limpos e peneirados, a disposição no FLD aconteceu. O filtro, inicialmente, foi inclinado para evitar choques ao colocar o pedregulho grosso. Em seguida, posicionou-se uma trena metálica com a extremidade ao fundo do filtro e se manteve o filtro na posição vertical. A trena possuía marcação do nível 7,5 cm (final da camada de pedregulho grosso), 12,5 cm (final da camada de pedregulho fino) e 17,5 cm (final da camada de areia grossa). A trena foi retirada em seguida ao preenchimento da camada de areia grossa.

Após a montagem do meio suporte, adicionou-se, lentamente, aproximadamente 12 litros de água do poço. Então foi adicionada areia fina, cuidadosamente, sem que o nível de areia ultrapassasse o da água, quando isso esteve próximo de ocorrer, adicionou-se mais água. Isso foi feito até que o nível de areia atingisse o ponto desejado, 3 cm abaixo do último ponto de tomada piezométrica. O procedimento de adição de água antes da camada de areia fina visa diminuir a ocorrência de caminhos preferenciais e efeitos de parede no meio filtrante (Ahmmed, 2011; Young- Rojanchi,

2014). Aproximadamente 6 kg de meio filtrante limpo e peneirado (areia fina) foram separados para a realização dos ensaios granulométricos e de índices físicos.

4.3. Ensaio Granulométricos

4.3.1. Características do Meio Filtrante

Para a determinação da curva granulométrica da areia utilizada realizou-se ensaios granulométricos no Laboratório de Mecânica dos Solos da EESC/USP (Departamento de Geotecnia), segundo a Norma ABNT EB-2097 (1990), a qual caracteriza as condições de recebimento e colocação de material filtrante como camada suporte em filtros de processos de tratamento de água para abastecimento público. Os materiais utilizados foram: peneiras, separador mecânico, estufa capaz de manter a temperatura em torno de 105 °C, balança com resolução de 0,01g, e agitador de 5 Hz,

As peneiras utilizadas no procedimento foram as da série americana ASTM de 10 a 200 (2 a 0,074 mm, respectivamente). Primeiramente, coletou-se 1,0 kg de amostra de areia e homogeneizou-se a mesma no separador mecânico (Figura 2).



Figura 2. Areia passando pelo separador mecânico para homogeneização (procedimento do ensaio granulométrico)

Depois, pesou-se cerca de 150 g dessa mesma amostra de areia, que foi transferida para uma estufa (de 100 °C a 110 °C) por cerca de 3h. Após esse procedimento, essa mesma amostra foi inserida no conjunto de peneiras (que foram empilhadas em ordem crescente de abertura), que foi colocada sob um agitador por 15 min a uma frequência 5Hz. Por fim, pesou-se a quantidade de areia em cada uma das

peneiras separadamente em uma balança de precisão 0,01g obtendo-se, assim, a curva granulométrica desejada e conseqüentemente o D_{10} e o CU (coeficiente de uniformidade).

4.3.2. Massa Específica dos Sólidos

Para a determinação de massa específica dos sólidos, seguiu-se a recomendação da ABNT 6508:1984, no Laboratório de Mecânica dos Solos do Departamento de Geotecnia da EESC/USP. Os materiais utilizados foram: i) picnômetros de 500 cm³, dispersor com hélices metálicas, balança de resolução 0,01g, bomba de vácuo com capacidade de aplicação de pressão de até -100 kPa, estufa de 100 °C a 110 °C e termômetro de mercúrio.

Primeiro, calibrar-se o picnômetro. Em seguida, adicionou-se uma parte da amostra de areia e água destilada até o menisco do mesmo. Depois, colocou-se o conjunto em banho-maria até certa temperatura (± 24 °C) e pesou-se o mesmo em uma balança de precisão 0,01g. Repetiu-se esse procedimento mais quatro vezes, só que a uma temperatura menor em cada uma delas (colocando-se o picnômetro em uma bacia com gelo).

4.3.3. Compacidade Relativa

Para determinar a compacidade relativa dos grãos de areia, seguiram-se as recomendações de Nogueira (1998), segundo os métodos MB-3324:1990 e MB-3328:2007 da ABNT. Esse procedimento foi feito no Laboratório de Mecânica dos Solos da EESC/USP (Geotecnia). Os materiais utilizados foram: cilindros de compactação, paquímetro, agitador de 5 Hz, funil de plástico, estufa capaz de manter a temperatura em torno de 105 °C e balança com capacidade nominal de 10 kg com resolução de 1,0g.

Inicialmente, colocou-se a amostra de areia em um recipiente em forma de cilindro até o topo e pesou-se a areia colocada (subtraindo-se o peso do conjunto menos o peso do recipiente), removendo o excesso (Figura 3). Depois, inseriu-se o cilindro (para compactação) por cima e colocou-se este conjunto no agitador (5 Hz) por 8 minutos. Após este procedimento, colocou-se areia no espaço vazio do recipiente e pesou-se a quantidade final de areia neste. Repetiu-se essa experiência três vezes.



Figura 3. Areia no recipiente para a determinação de compactidade relativa

4.4. Ensaios Preliminares de Funcionamento do FLD

Após a montagem do filtro, descrita nas etapas anteriores, realizaram-se testes preliminares para verificar o funcionamento do sistema. Nestes testes o filtro foi alimentado por um reservatório superior, igualmente como previsto para operações futuras, no entanto, com utilização apenas de água do poço da EESC/USP – Campus I.

O sistema foi mantido à vazão constante, por meio de ajuste em registro de saída do FLD. A vazão mantida foi de 22 mL/min, vazão correspondente ao volume filtrado de 32 L/dia, ou seja, uma taxa de filtração de 0,68 m³/m².dia. O objetivo destes testes foi verificar se o sistema estaria apto a iniciar operação com a água de estudo.

4.5. Ensaios em Laboratório

A Tabela 4 apresenta as análises, os métodos e os equipamentos utilizados ao longo da pesquisa.

Tabela 4. Análises realizadas na pesquisa

Variável	Método e Equipamento
Condutividade elétrica	Método 2510 B Condutímetro Digimed DM-32 (APHA, 2012)
pH	Método potenciométrico. pHMETRO Digimed® DM- 20
Temperatura	Termômetro de mercúrio
Cor aparente	Digimed DM-COR
Turbidez	Turbidímetro HACH® 2100
Coliformes totais <i>Escherichia coli</i>	Método membrana filtrante com Chromocult (9222)

Para o preparo da água de estudo, inicialmente preencheu-se um reservatório de 100 L com água do poço, localizado próximo ao laboratório LATAR. Em seguida, adicionou-se 3g de caulinita a este reservatório e misturou-se a solução utilizando um misturador elétrico, o qual foi acionado por 20 a 30 minutos. Após esse processo, transferiu-se o conteúdo desse reservatório para um segundo reservatório, localizado acima do filtro, e contaminado com *E. coli*, por meio da utilização de culturas deste microrganismo do LATAR. Esse processo era repetido cerca de três vezes por semana. A água de estudo contida no segundo reservatório era transferida para o FLD continuamente, por isso a água contaminada era sempre colocada no reservatório quando a quantidade restante no reservatório estivesse quase acabando. Assim, coletou-se amostras da água de estudo e da água filtrada o período de operação do filtro para análises de turbidez, cor aparente, pH e condutividade.

A determinação da *E. coli* envolveu o método de membranas filtrantes (APHA, 2012). Nessa metodologia, utiliza-se uma membrana para filtrar 100 mL da amostra coletada (água de estudo e água filtrada) com o auxílio de uma bomba a vácuo. Essa amostra pode ser diluída caso necessário. Idealmente, essa amostra deve conter de 20 a 60 colônias de *E. coli*, mas nunca superando 200 colônias. No caso dos ensaios realizados, para chegar a esses valores, foi preciso diluir a amostra da água de estudo duas vezes e a água filtrada não precisou dessa diluição.

Primeiramente, pesou-se 2,65 g de *Chromocult Coliform Agar*. Em seguida, diluiu-se o mesmo em 100 mL de água deionizada em um *Erlenmeyer*. Depois, colocou-se este em um agitador para aquecer o conteúdo até 95° C (utilizou-se um termômetro para controlar a temperatura), e com o auxílio de um agitador magnético, homogeneizou-se a amostra. Após esse processo, transferiu-se o béquer para um banho-maria, onde a temperatura deveria abaixar para cerca de 45° C. Coletou-se, então, 10 mL do caldo de *Chromocult* e inseriu-se esse volume em uma placa de *Petri*. Após o resfriamento, com o auxílio de uma pinça, transferiu-se cuidadosamente a membrana filtrante para a placa. É importante ressaltar que todos os procedimentos mencionados foram feitos próximos a um bico de *Bunsen* aceso, para evitar contaminação das placas. Depois desse processo, as placas permaneciam em uma incubadora por cerca de 24h. Após esse período, foi possível observar as colônias de coliformes que se formaram nas placas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Construção do Filtro Lento em Escala Domiciliar e Custo Associado

Os itens utilizados na construção do FLD apresentados na Tabela 2 tiveram seus custos discriminados na Tabela 5. O custo total da unidade em julho de 2015 foi de R\$208,65(US\$ 65 – cotação referente a novembro de 2016 de R\$3,21/US\$1) sem considerar mão de obra e água utilizada na limpeza do material filtrante. Os valores correspondem aos preços unitários aplicados no Estado de São Paulo.

Tabela 5. Custos do FLD sem considerar mão de obra (julho de 2015)

Item	Custo (R\$)
Tampa de caixa sifonada DN250	8,99
Porta tampa de caixa sifonada DN250	7,09
100 cm de tubulação branca DN250	64,96
Caixa sifonada 250x50	25,89
Luva de redução branca 50x40 (e anel de vedação de 50mm)	1,44
6 cm de tubulação branca DN40	0,20
Joelho 90° branco DN 40	1,15
70 cm de tubulação branca DN40	2,42
Joelho 90° branco DN40	1,15
6 cm de tubulação branca DN40	0,20
Joelho 90° branco DN40	1,15
Luva de redução branca 50x40	1,44
3 cm de tubulação branca DN50	0,40
Redução excêntrica 75x50	3,61
5 cm de tubulação branca DN75	8,87
Cap branco DN75	3,77
Adaptador soldável com anel de vedação ½”	8,03
Nipel roscável ½”	0,88
Registro em esfera metálico ½”	7,91
Espigão de latão ½”x1/4”	5,50
Solução de limpeza para cola Tigre	8,57
Cola adesivo Tigre	12,62
Fita crepe 25x50	5,23
Lixa p/ferro 80	2,18
Areia fina	10,0
Areia grossa	5,0
Pedregulho	10,0
Total	R\$ 208,65

Segundo *The Water Project* ([201-]), o custo médio de um biofiltro fica em torno de US\$70. Segundo a *ONG Livelihood* ([201-]), esse valor é de US\$90. Comparando esses valores com o custo do biofiltro do presente trabalho, concluiu-se que esse é relativamente mais barato que os FLDs de concreto, o que comprovou que os materiais utilizados na construção da tecnologia são mais acessíveis economicamente.

Os materiais deste estudo foram escolhidos por serem de fácil acesso, pois o público-alvo da tecnologia analisada são as comunidades isoladas. Entretanto, uma outra questão importante também é a transferência de tecnologia, pois como as comunidades são de difícil acesso e possuem certas peculiaridades, é necessário também realizar estudos para que a tecnologia consiga se adaptar a essas realidades, de modo a atender a essa população, tanto economicamente, quanto socialmente.

5.2. Características da Areia Fina Utilizada

5.2.1. Ensaios Granulométricos

A curva granulométrica da areia fina analisada está apresentada na Figura 4. As peneiras utilizadas foram as da série americana ASTM de 10 a 200 (2 a 0,74 mm, respectivamente). Analisando o gráfico, chegou-se aos seguintes resultados: $D_{10} = 0,13$ mm, $D_{60} = 0,19$ mm e $CU = D_{60}/D_{10} = 1,46$

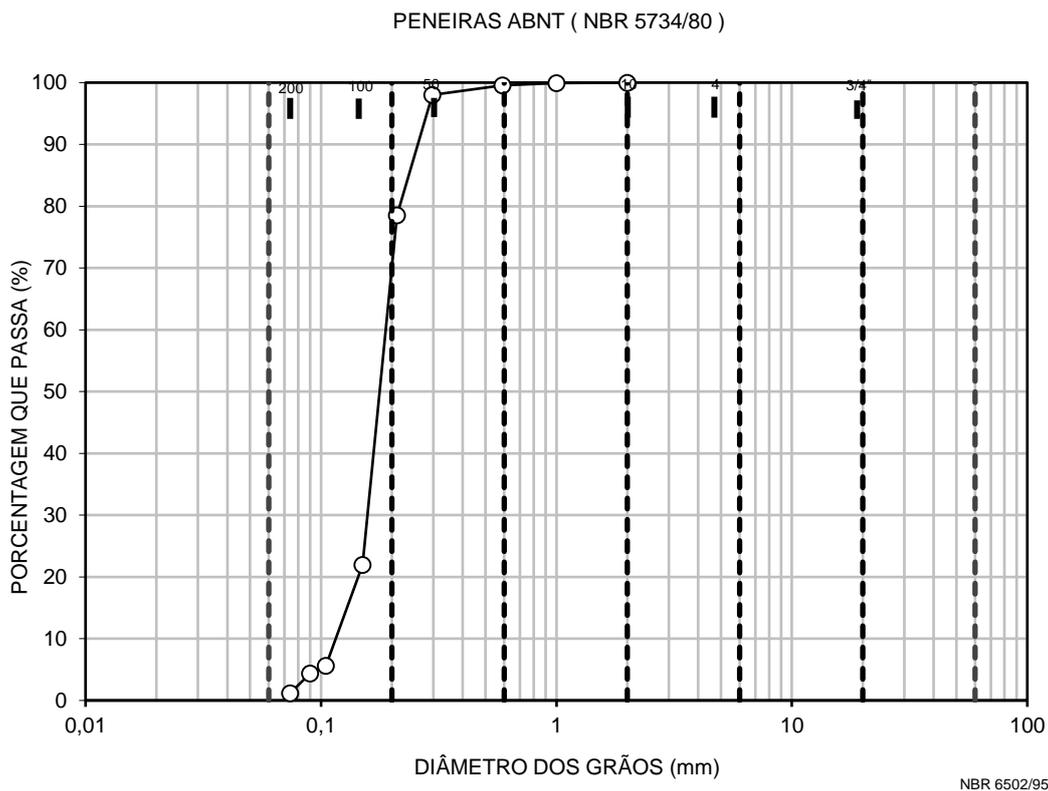


Figura 4. Curva granulométrica da areia fina utilizada

De acordo com o manual CAWST (2009), o valor de D_{10} deve estar entre 0,15 e 0,2 mm e o de CU entre 1,5 e 2,5. No caso da areia utilizada, tanto o D_{10} quanto o CU ficaram fora das faixas recomendadas. Essa situação gerou compactação do topo do meio filtrante e, conseqüentemente, redução da taxa de filtração, por isso, uma manta não tecida foi colocada acima da camada superficial de areia para amenizar o problema, o que não interfere na formação da camada biológica.

5.2.2. Massa Específica dos Sólidos

Os resultados referentes ao experimento de massa específica dos sólidos encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Valores encontrados no experimento da massa específica dos sólidos para a areia fina analisada

Calibração do Picnômetro

Picnômetro	n°	9
Picnômetro [Mp]	g	144,99
Temperatura [T ₀]	°C	21,2
Picnômetro+Água em T ₀ [M ₂]	g	643,84
ρ_w em T ₀	g/cm ³	0,99795

Dados do Ensaio

Determinações:	n°	1	2	3	4	5
Temperatura (Ti)	°C	15,4	17,7	19,6	22,6	24,3
ρ_w	g/cm ³	0,99904	0,99865	0,99829	0,99763	0,99722
Pic. + Sólidos + Água (M ₁)	g	703,66	703,53	703,19	702,94	702,70
Picnômetro + Água (M ₂)	g	644,38	644,19	644,01	643,68	643,48
Massa Final de Sólidos (M _S)	g	94,56				
Massa Espec. Sólidos T°C	g/cm ³	2,677	2,681	2,668	2,672	2,669
Fator K	-	1,0008	1,0005	1,0001	0,9994	0,9990
Massa Espec. Sólidos (20 °C)	g/cm ³	2,680	2,682	2,668	2,671	2,666

Critério de Rejeição de Valores

Determ.	ρ_s médio (g/cm ³)	Intervalo Variação
5	2,673	2,693 ----- 2,653

Massa Específica dos Sólidos – ρ_s (20)	2,673 (g/cm ³)
--	-----------------------------------

Após efetuadas as duas determinações de massa específica dos sólidos, notou-se que a discrepância dos valores encontrados (2,693 e 2,653 g/cm³) foi de apenas 1,5%. Portanto, o ensaio foi considerado satisfatório, já que, segundo a NBR6508:1984, esse valor não pode passar de 2%.

5.2.3. Compacidade Relativa

Detalhes dos resultados dos ensaios realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da EESC/USP (Geotecnia) são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores encontrados no experimento de compacidade relativa da areia fina analisada

Ensaio						
φ CILINDRO	10,00	cm		CILINDRO + BASE	5513,00	g
V CILINDRO	999,81	cm ³		CIL+APOIO+SOBREC	11058,00	g
H CILINDRO	12,73	cm				
AREIA+CILINDRO - 1	6976,00	g		V1	999,81	cm ³
AREIA	1463,00	g		V2	999,81	cm ³
				γ _σ MÍN	1,463	g/cm ³
AREIA+CILINDRO - 2	7131,00	g		γ _σ MÁX	1,618	g/cm ³
AREIA	1618,00	g		e _{MÁX}	0,82	--
				e _{MÍX}	0,65	--
AREIA+CILINDRO - 1	6983,00	g		V1	999,81	cm ³
AREIA	1473,00	g		V2	999,81	cm ³
				γ _σ MÍN	1,473	g/cm ³
AREIA+CILINDRO - 2	7152,00	g		γ _σ MÁX	1,642	g/cm ³
AREIA	1642,00	g		e _{MÁX}	0,81	--
				e _{MÍX}	0,63	--
AREIA+CILINDRO - 1	6983,00	g		V1	999,81	cm ³
AREIA	1473,00	G		V2	999,81	cm ³
				γ _σ MÍN	1,473	g/cm ³
AREIA+CILINDRO - 2	7152,00	g		γ _σ MÁX	1,642	g/cm ³
AREIA	1642,00	g		e _{MÁX}	0,81	--
				e _{MÍX}	0,63	--
MÁX médio	0,82			γ _σ MÍN (MÉDIO)	1,47	
e _{MÍX} médio	0,63			γ _σ MÁX (MÉDIO)	1,63	

Nota: γ_s MÍN: massa específica mínima da areia, γ_s MÁX: massa específica máxima da areia

Nesse ensaio são de interesse o valor do índice de vazios (e), a partir do qual é possível determinar a porosidade do meio filtrante (ε) de acordo com a Equação 1.

$$\varepsilon = \frac{e}{1 + e} \quad \text{Equação 1}$$

Logo, calculou-se:

$$\varepsilon_{\text{máx}} = 0,45$$

$$\varepsilon_{\text{mín}} = 0,39$$

De posse das características geométricas do filtro (diâmetro interno de 0,244 m e espessura da camada de areia de 0,585 m), foi possível determinar o volume útil da camada de meio filtrante.

$$V = \frac{\pi D^2 H}{4} = 0,02735 \text{ m}^3 = 27,35 \text{ L}$$

Multiplicando o volume encontrado pela porosidade, encontrou-se o volume útil da camada de meio filtrante:

$$V_{\text{útilmax}} = 12,31 \text{ L}$$

$$V_{\text{útilmin}} = 10,67 \text{ L}$$

Estimou-se o volume de água que ocupa a camada suporte por reprodução da configuração deste em caixa sifonada seguida de preenchimento com água do poço (2,9L). Os volumes acima da camada de areia (5,3L) e nas tubulações de saída (0,8L) foram obtidos por cálculos considerando a geometria interna dos equipamentos. Considerou-se a porosidade mínima para o cálculo do volume no meio filtrante (10,6L).

5.3 Ensaios Preliminares do Funcionamento do Sistema

Os ensaios preliminares realizados no FLD apresentaram como resultado declínio acentuado de vazão em poucos dias de operação. O sistema não era capaz de

manter a taxa de filtração de aproximadamente 0,68 m³/m².d, que tem 22 mL/min como vazão correspondente.

A operação se iniciou com o registro de saída do filtro apenas parcialmente aberto. A observação do declínio da vazão fez com que se fizesse necessária maior abertura do registro e em 7 dias o registro já trabalhava completamente aberto. Observou-se que o nível pré-estabelecido de 10 cm acima da camada de areia não era suficiente para manter a taxa de filtração desejada.

Uma investigação da camada superficial de areia demonstrou que essa se apresentava excessivamente compactada. Especulou-se que essa compactação ocorreu em decorrência das características do meio filtrante utilizado, que foi caracterizado em ensaio granulométrico como tendo alta porcentagem de grãos de areia muito fino, acima das recomendações de CAWST (2009).

Diante dessa observação, propôs-se a utilização de uma manta não tecida na camada superior do filtro. A manta neste filtro foi colocada com o intuito de prevenir a descrita compactação e prolongar a carreira de filtração com nível de água pré-estabelecido de 10 cm.

A manta colocada foi capaz de prevenir a compactação da areia. Ensaios realizados por cerca de duas semanas com água do poço demonstraram que não houve declínio na taxa de filtração.

5.4. Resultados das Análises em Laboratório

Para a discussão dos resultados obtidos em laboratório, utilizou-se as exigências contidas na Portaria 2914/2011.

5.4.1. pH

De acordo com a Portaria 2914/2011, o pH da água deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5, pré-requisito atendido pelo FLD avaliado. Na Figura 5, tem-se os gráficos do tipo *box plot*, mostrando os valores de pH na entrada e saída do filtro entre os meses de fevereiro e julho de 2016. Observou-se que o pH variou na água de estudo e isto ocorreu devido às condições de mistura no reservatório, pois quando a água permaneceu muito tempo em recirculação, devido ao bombeamento, o pH aumentou. Já na água filtrada, o pH se manteve mais estável.

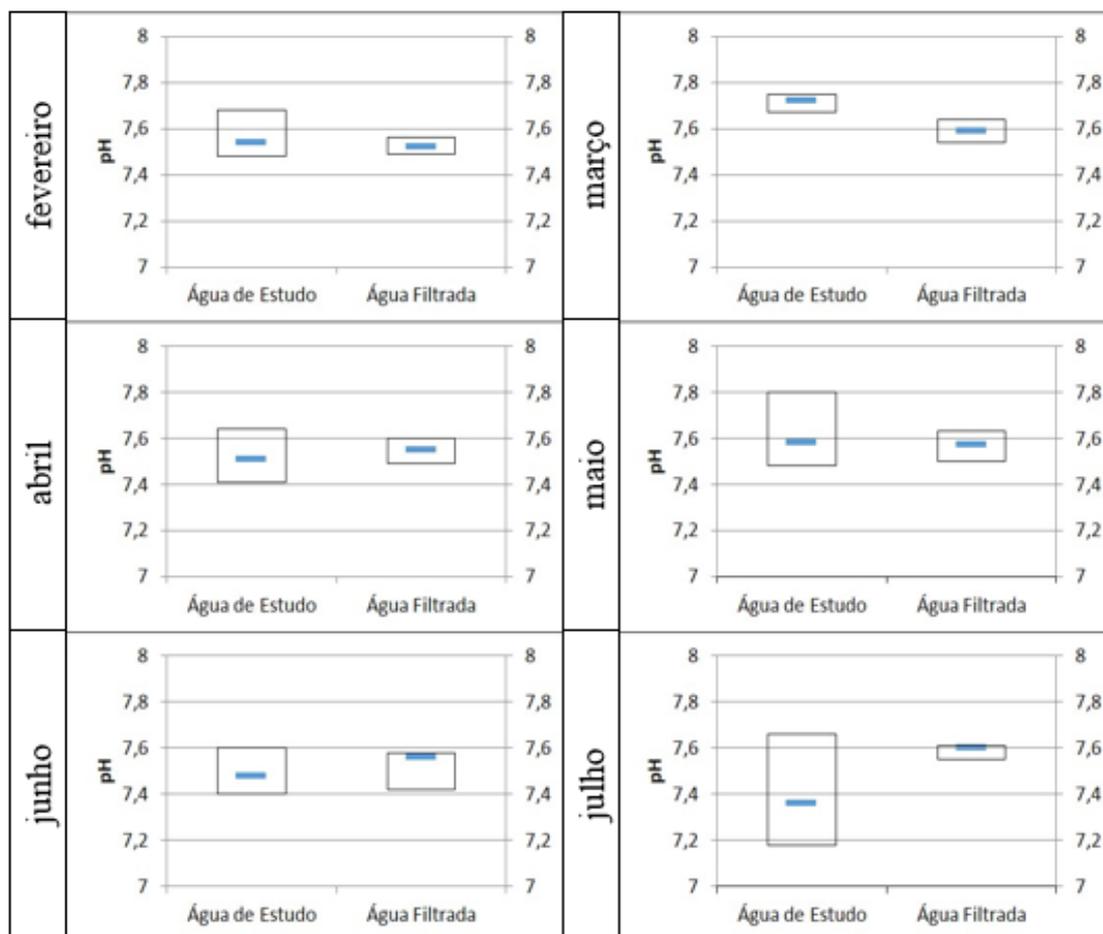


Figura 5. Gráficos *Box Plot* do valor de pH na entrada e na saída do FLD entre fevereiro e julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha mais grossa representa a mediana.

5.4.2. Condutividade Elétrica

A condutividade está associada à presença de espécies iônicas dissolvidas e de sólidos dissolvidos totais na água (CETESB, 2009). A Portaria 2914/2011 não dispõe uma faixa de valores de condutividade dentro da qual é permitido o uso para consumo humano; porém, em geral, níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicam que a água sofreu algum impacto, pela alta concentração de sólidos dissolvidos e espécies iônicas (CETESB, 2009). Na Figura 6, tem-se os gráficos do tipo *box plot*, mostrando os valores de pH na entrada e saída do filtro entre fevereiro e julho de 2016.

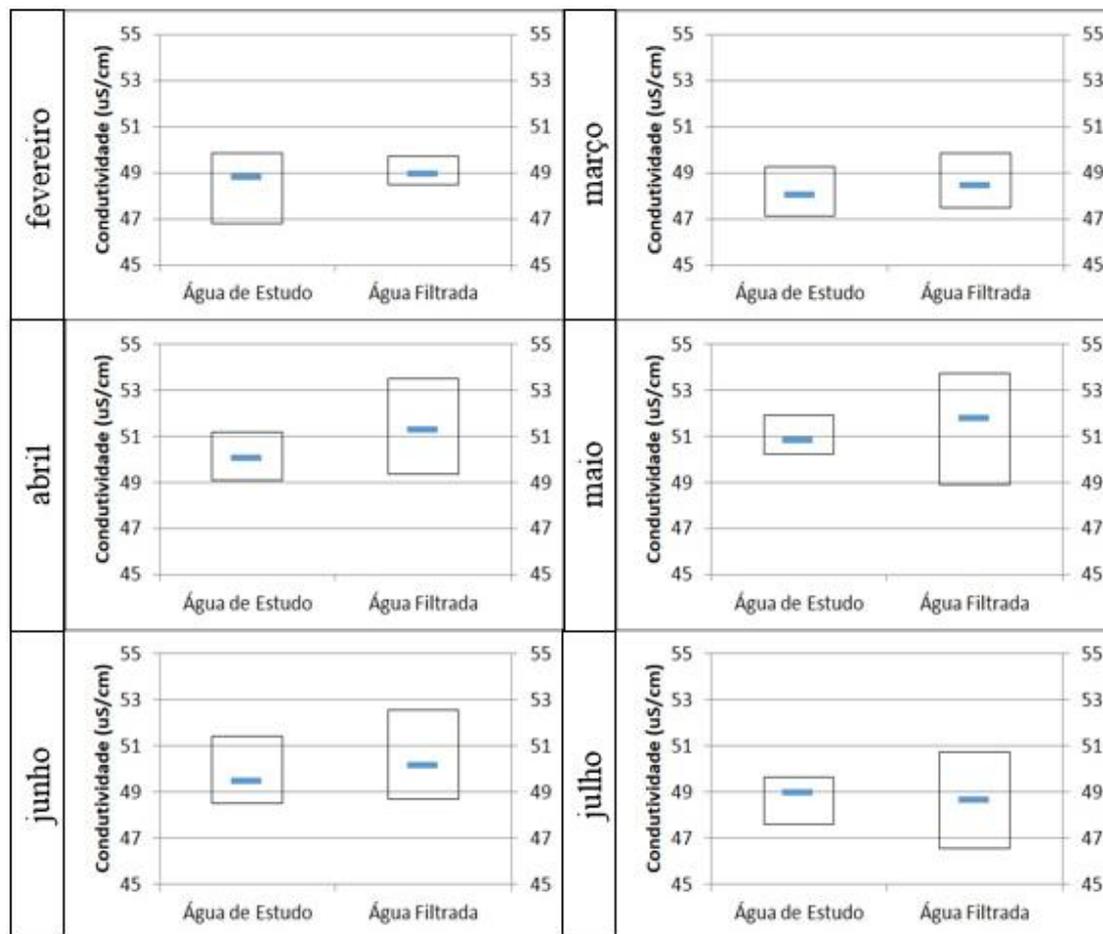


Figura 6. Gráficos *Box Plot* do valor de condutividade elétrica na entrada e na saída do FLD entre fevereiro e julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha mais grossa representa a mediana.

Ao analisar os resultados referentes à condutividade elétrica na entrada e saída do filtro, observou-se que os valores não passaram de $55 \mu\text{S}/\text{cm}$, tanto na água de estudo quanto na água filtrada, o que mostra que elas não apresentaram substâncias iônicas ou sais dissolvidos totais em concentrações elevadas. Entretanto, observou-se que a água filtrada apresentou uma variação maior em relação a essa variável, atingindo valores superiores se comparados à água de estudo. Isso pode ter ocorrido devido a algum desprendimento de minerais da areia, porém a variação observada foi pequena e, portanto, não foi possível realizar uma afirmação concreta. No experimento feito por Young-Rojanschi e Madramootoo (2015), eles observaram que o valor da condutividade elétrica foi mais elevado na água tratada, comparado ao valor da água de estudo e os autores concluíram que isso ocorreu devido ao meio filtrante, pelo desprendimento de

minerais deste. Quanto maior o período de residência, maior é o valor da condutividade na saída do filtro.

5.4.3. Turbidez

Na Figura 7 encontram-se os gráficos do tipo *box plot*, mostrando a variação da turbidez entre fevereiro e julho de 2016. Segundo a Portaria 2914/2011, para água filtrada em processo de filtração lenta, a turbidez deve ser de no máximo 1,0 uT.

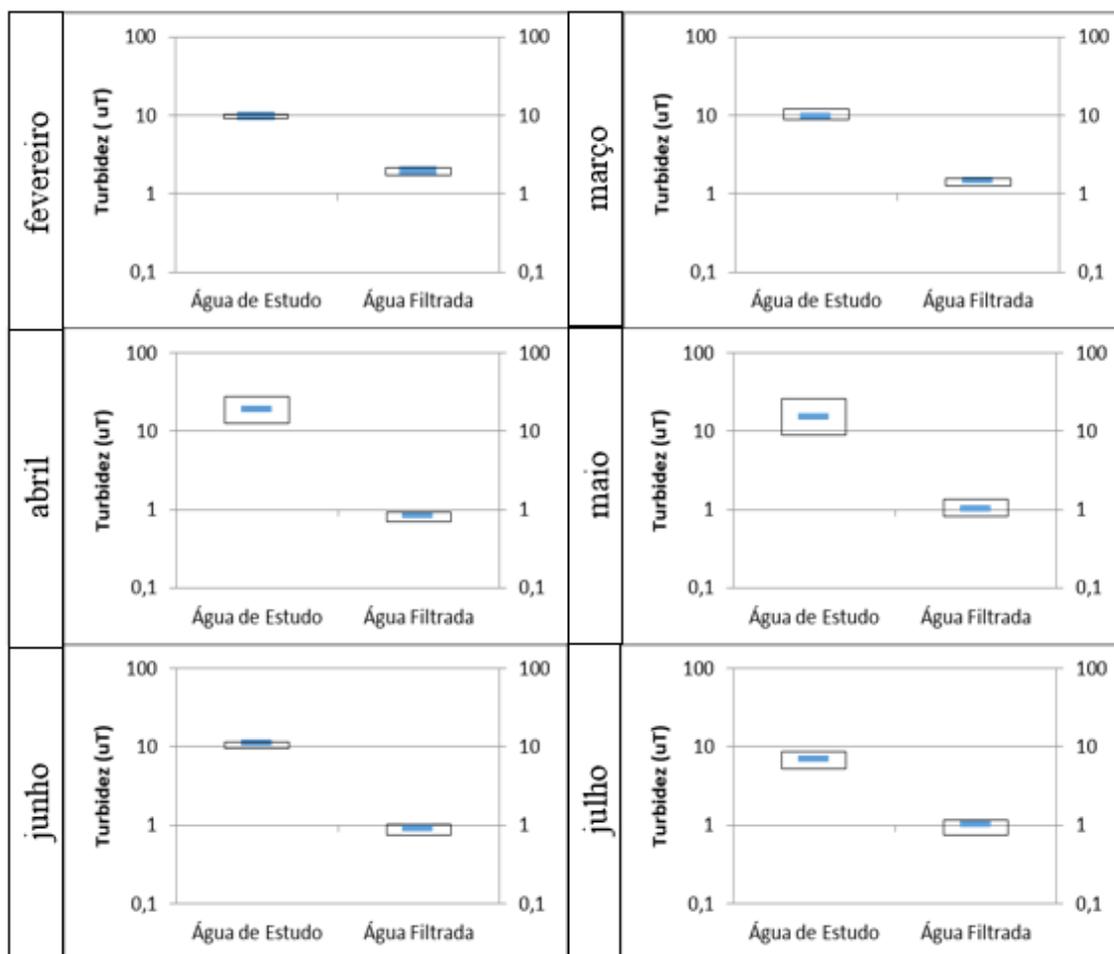


Figura 7. Gráficos Box Plot do valor de turbidez na entrada e na saída do FLD nos meses de fevereiro a julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha mais grossa representa a mediana.

Analisando os gráficos mostrados, pôde-se observar que a turbidez diminuiu significativamente durante o período de operação do filtro. Entretanto, foi somente no mês de abril que se constatou que o valor médio dessa variável ficou dentro do padrão

estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, de até 1,0 uT. No dia 12 de maio, foi realizada a manutenção da camada filtrante, o que ocasionou a elevação da turbidez da água filtrada nos primeiros dias após esse procedimento.

Na Figura 8 está representada essa mudança, apresentando os valores da turbidez da água filtrada antes e depois da manutenção, ao passo que na Figura 9 está representada a variação da turbidez por meio de colunas ao longo do período de operação do filtro. E por fim, na Figura 10, é possível observar a variação de turbidez ao longo de todos os dias de operação do FLD em fluxo contínuo.

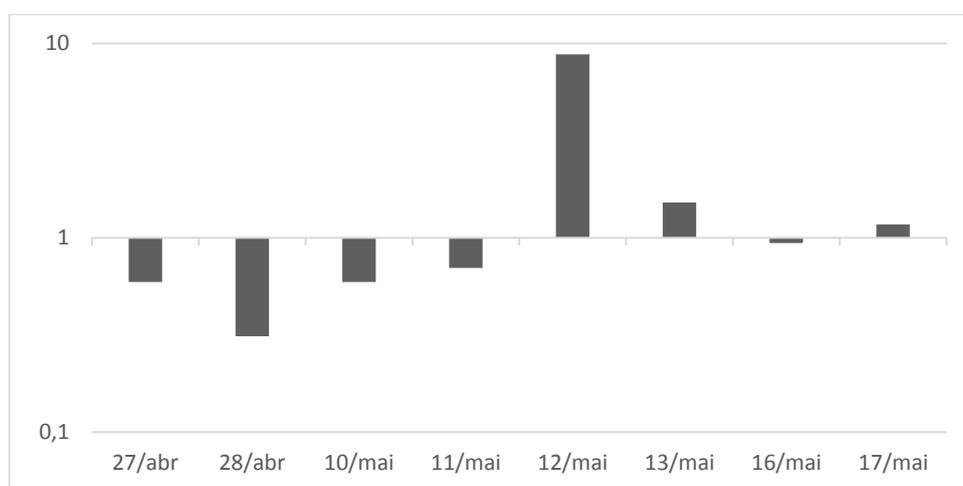


Figura 8. Valores de turbidez da água filtrada antes e após a manutenção da camada filtrante, realizada no dia 12 de maio de 2016.

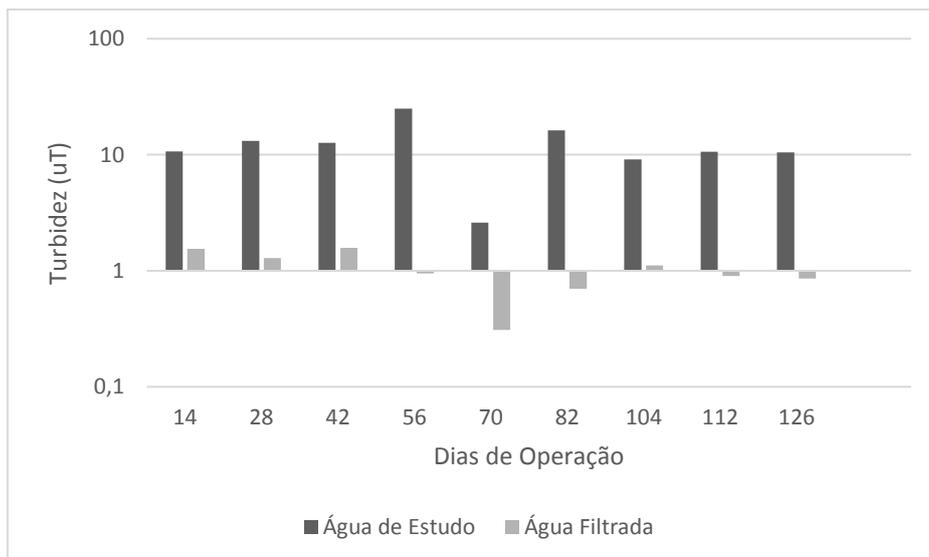


Figura 9. Valores de turbidez da água de estudo e da água filtrada conforme o tempo de operação.

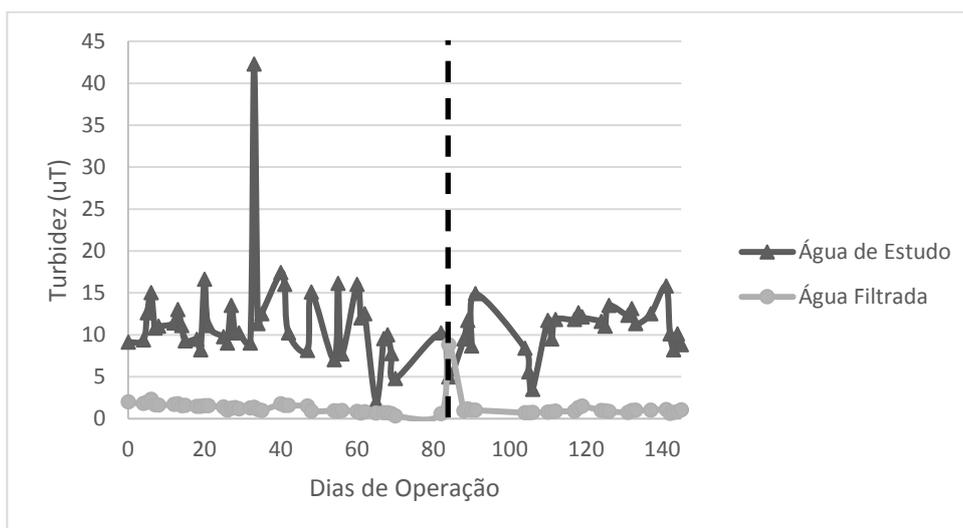


Figura 10. Variação da turbidez ao longo de todos os dias de operação do filtro. A linha tracejada indica o dia em que o FLD entrou em manutenção, 12 de maio de 2016.

Ao observar a Figura 9, percebeu-se que a turbidez da água filtrada ficou abaixo de 1,0 uT a partir do 56º dia de operação, voltando a aumentar no 104º dia, e depois diminuiu novamente a partir do 112º dia. Portanto, foi possível afirmar que o valor da turbidez atingiu valores satisfatórios em alguns períodos.

Ao comparar os resultados obtidos com o estudo de Young-Rojanschi e Madramootoo (2014), neste o valor médio de turbidez para a água de estudo e para a

água filtrada dos filtros contínuos foram, respectivamente, $12,6 \pm 7,6$ uT e $0,4 \pm 0,2$ uT, entre o 28º e 58º dia de operação. Fazendo uma analogia, o valor médio para essa variável no presente trabalho foi de $15,9 \pm 6,5$ uT para a água de estudo e $1,2 \pm 0,3$ uT para a água filtrada, entre o 28º e 57º dia de operação. A água de estudo nos dois casos apresentou valores bem próximos. No entanto, a água filtrada diferiu significativamente. Isso provavelmente ocorreu devido ao meio filtrante, pois no experimento de Young-Rojanschi e Madramootoo (2014), os valores de D_{10} e CU ficaram dentro das faixas recomendadas por CAWST (2009), garantindo um desempenho melhor dos filtros. Entretanto, ao comparar os valores obtidos no presente experimento com os resultados dos filtros intermitentes do estudo de Young-Rojanschi e Madramootoo (2014), notou-se muita semelhança entre os resultados ($1,2 \pm 0,4$ uT para a água filtrada nos filtros intermitentes).

No experimento feito por Chan et al (2015), analisou-se a variação da turbidez de 6 biofiltros intermitentes diferentes, utilizando areia com grãos de tamanhos diferentes em cada um. Ao longo de 64 dias de operação, a média dessa variável variou de 0,45 a 1,24 uT, ficando próximo do valor encontrado para este trabalho, considerando os dias em que o valor da turbidez ficou abaixo de 1,0 uT.

5.4.4. Cor Aparente

Segundo a Portaria 2914/2011, o valor da cor aparente não deve exceder 15 mgPt-Co/L. Na Figura 11, encontram-se os gráficos *box plot* para a variação da cor aparente nas amostras de água de entrada e saída do filtro estudado entre os meses de março e julho.

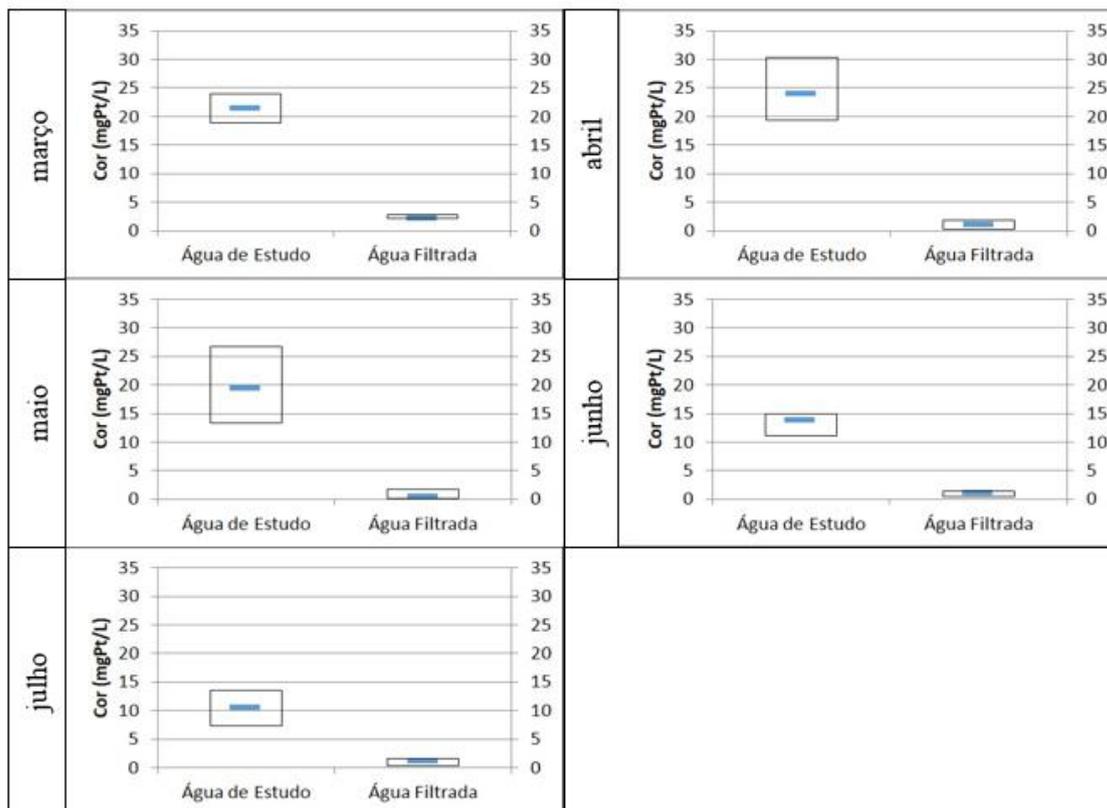


Figura 11. Gráficos Box Plot da cor aparente na entrada e na saída do FLD nos meses de março e julho de 2016. A linha inferior é o primeiro quartil, a superior é o terceiro quartil e a linha azul representa a mediana.

Pelos gráficos *box plot* apresentados anteriormente, pode-se afirmar que durante todo o tempo de operação do filtro, o valor da cor aparente manteve-se abaixo de 15 mgPt-Co/L, demonstrando a eficiência do FLD para remoção dessa variável da água de estudo.

5.4.5. *Escherichia coli*

De acordo com a Portaria 2914/2011, a água tratada não pode conter *E. coli*. Na Figura 12 tem-se a variação de *E. coli* na entrada e saída do filtro ao longo dos dias de operação do mesmo, ao passo que na Figura 13, tem-se a quantidade de *E. coli* removida na água de estudo, em log, ao longo dos mesmos dias.

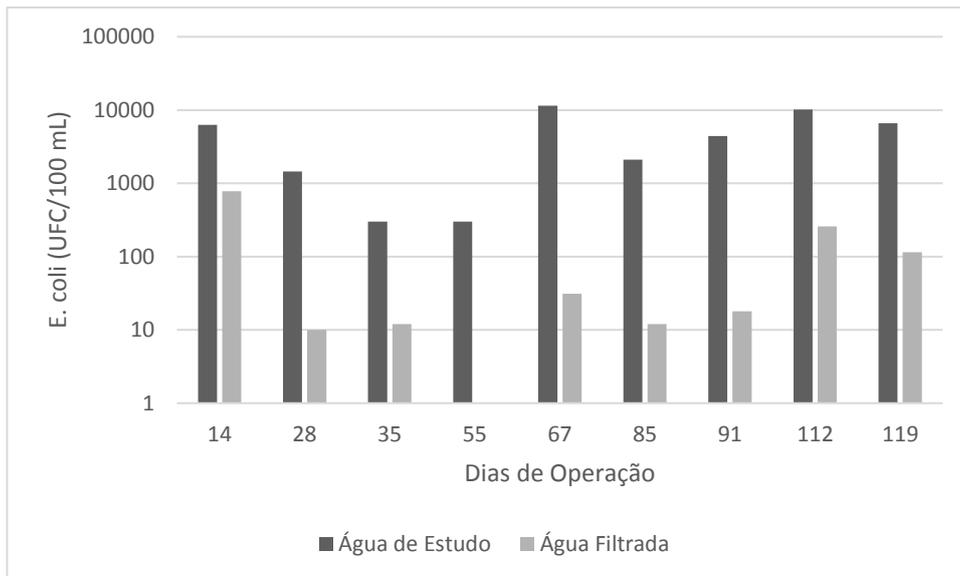


Figura 12. Variação do número de colônias de *E. coli* em 100 mL de água na entrada e saída do filtro ao longo do período de operação do filtro.

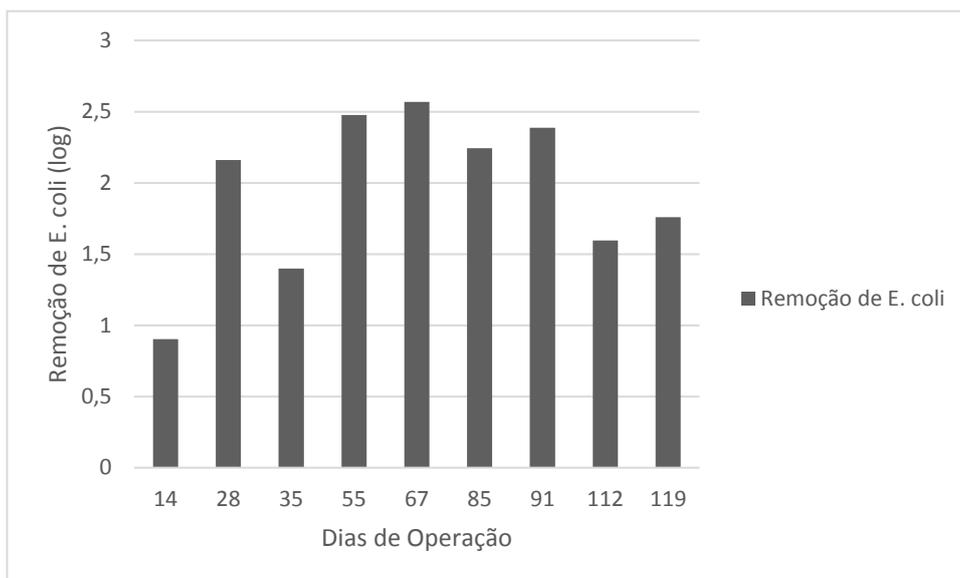


Figura 13. Remoção de colônias de *E. coli* em 100 mL (em log) de água na entrada e saída do filtro ao longo do período de operação do filtro.

Pelo gráfico, pôde-se observar que o número de colônias de *E. coli* diminuiu com a passagem da água de estudo pelo filtro. Aos 55 dias de operação, esse número foi de 1 UFC/100 mL. Entretanto, não houve 100% de remoção e, portanto, a água filtrada não atingiu o padrão de potabilidade desejado e, assim, a desinfecção do efluente será obrigatória. Apesar disso, notou-se também que a remoção de *E. coli* da água de estudo

foi bem significativa ao longo de todo o experimento, chegando a 99,7% (equivalente a 2,57 unidades log).

No experimento de Young-Rojanschi e Madramootoo (2014), o valor médio de *E. coli* na saída dos filtros contínuos (0,4 log UFC/100 mL) foi menor que o valor médio do filtro deste trabalho. Isso provavelmente se deve ao desenvolvimento da camada biológica, como já mencionado anteriormente, pois no presente experimento ela não se desenvolveu de maneira satisfatória, levando a uma remoção abaixo do esperado. Ao comparar esse valor com o resultado dos efluentes dos filtros intermitentes analisados por Young-Rojanschi e Madramootoo (2014), que foi de $2,5 \pm 0,7$ log UFC/100 mL, no entanto, percebe-se que o presente trabalho atingiu um resultado próximo.

No experimento realizado por Elliot et al (2015), construiu-se biofiltros intermitentes utilizando granito como meio filtrante. Como resultado, ao longo do período de operação dos filtros, os valores médios de *E. coli* variaram de 1,2 a 2 log UFC/100 mL, os quais ficaram próximos dos valores encontrados neste estudo, ao longo do período de maior maturidade do filtro contínuo analisado.

Analisando todos os resultados das análises feitas em laboratório, é possível concluir que todos os parâmetros atingiram valores satisfatórios segundo o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, exceto a presença de *E. coli*. Pelos resultados já mencionados anteriormente, o pH, a condutividade elétrica, a turbidez e a cor aparente da água filtrada estavam de acordo com a legislação a partir do 56º dia de operação do filtro, obtendo-se uma remoção de até 96,2% de turbidez e 100% de cor.

Em relação à remoção de *E. coli*, em nenhuma das amostras analisadas o número de colônias chegou a uma remoção total deste microrganismo, atingindo apenas o valor de 1 UFC/100 mL aos 55 dias de operação do filtro, sendo necessária a desinfecção. Isso pode ser explicado pelo fato de a camada biológica não ter se desenvolvido plenamente e, portanto, são necessários mais estudos visando otimizar o desempenho do FLD.

6. CONCLUSÕES

A partir desse estudo, foi possível quantificar os gastos envolvidos na construção do filtro (R\$208,65 ou US\$65). Esse valor, comparado a outras tecnologias de tratamento de água, como as ETAs, que chegam a custar R\$90 per capita apenas para implantação, é considerado baixo. Além disso, o seu manuseio e sua manutenção são fáceis, o que também é uma vantagem interessante a ser observada. Determinou-se também a distribuição granulométrica da areia utilizada como meio filtrante e analisou-se a taxa de filtração do filtro. Apesar de os resultados obtidos pela granulometria não serem plenamente satisfatórios, foi possível contornar esse problema com a utilização da manta.

Em relação aos parâmetros analisados ao longo do estudo, foi possível verificar que o FLD contínuo construído apresentou valores satisfatórios, de acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, considerando o pH, a condutividade elétrica, a cor aparente e a turbidez, a partir do 56º dia de operação do filtro, período em que este apresentou maior amadurecimento. Entretanto, essa tecnologia falhou na remoção de *E. coli*, pois as colônias não atingiram o valor requerido pela legislação em nenhuma das amostras analisadas, necessitando de uma desinfecção após o tratamento. Isso se deve provavelmente devido à camada biológica, que não amadureceu de uma maneira satisfatória. Entretanto, foi possível notar a diminuição no número dessas colônias, chegando a atingir 1 UFC/100 mL no 55º dia de operação, no mesmo período em que o valor da turbidez ficou abaixo de 1,0 uT. Porém, não é possível afirmar que esses dois parâmetros estão relacionados de alguma forma.

Para que o filtro atinja o desempenho almejado, é necessário alcançar meios de garantir um desenvolvimento adequado do *schmutzdecke*, pois assim o tempo de amadurecimento do filtro será menor. Além disso, espera-se que com isso a remoção de *E. coli* seja maior, porém em todos os casos, é necessário realizar a desinfecção para garantir a segurança dos usuários do filtro.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Desafios do Saneamento em Comunidades Isoladas**. 2011. Disponível em <http://www.abes-sp.org.br/arquivos/ANA_BRASIL_Desafio_Saneamento_Comunidades_Isoladas.pdf> Acesso em 23/07/2016.
- AIKEN, B. A.; STAUBER, C. E.; ORTIZ, G. M.; SOBSEY, M. D. An Assessment of Continued Use An Assessment of Continued Use and Health Impact of the Concrete Biosand Filter in Bona, Dominican Republic. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 85, n. 2, p. 309-317, 2011.
- ALBUQUERQUE, C. “A Importância do Rio Nilo”. **Estudo Prático**. 2012. Disponível em <<http://www.estudopratico.com.br/a-importancia-do-rio-nilo/>> Acesso em 22/08/2016.
- ALMEIDA, G. C. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Apostila – Departamento de Transportes da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004.
- ARNOLD, N.; ARCHER, A.; BARKDOLL, B. Bacterial Adaptation and Performance of Household Biosand Water Filters in Differing Temperatures. **Water Science and Technology – Water Supply**, v. 16, ed. 3, p. 794-801, 2016.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 22^a ed. Washington, DC. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB 2097**: Material Filtrante – Areia, Antracito e Pedregulho. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3324**: Solo – Determinação do Índice de Vazios Máximo de Solos Não-Coesivos. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3388**: Solo – Determinação do Índice de Vazios Mínimo de Solos Não-Coesivos. Rio de Janeiro, 1989.
- BAKER, D. L.; DUKE, W. F. Intermittent Slow Sand Filters for Household Use – A Field Study in Haiti. **IWA Publishing**, p. 278-282, 2006.

BRASIL. Portaria 2914 de 12/11/2011. Publicada no **D.O.U. Nº239**, Seção I, 14/12/2011, 39-46. Ministério da Saúde. 2011.

CAMPOS, A. C. **Desigualdade no Saneamento Básico no Brasil Impressiona Relatora Especial da ONU**. Agência Brasil. 2013. Disponível em <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-12-19/atualizada-%E2%80%93-desigualdade-no-saneamento-basico-no-brasil-impressiona-relatora-especial-da-onu>>

Acesso em 20/07/2016.

CAWST, **Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance**. Training Manual Sep. Canadá., 2009.

CHAN, C. C. V.; NEUFELD, K.; CUSWORTH, D.; GRAVRILOVIC, S.; NGAI, T. Investigation of the Effect of Grain Size, Flow Rate and Diffuser Design on the CAWST Biosand Filter Performance. **International Journal for Service Learning in Engineering**, v.10, n. 1, p. 1-23, 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo: Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo: CETESB, 2009.

CINARA. Los Comportamientos Sociales y Culturales a Considerar en la Selección de Tecnologías para la Potabilización de Agua. **Informe del Proyecto de Selección de Tecnología y Análisis de Costos em Sistemas de Potabilización de Agua**. Universidad del Valle/CINARA. Cali, Colombia, 1997.

CORRAL, A. F.; YENAL, U.; STRICKLE, R.; YAN, D.; HOLLER, E.; HILL, C.; ELA, W. P.; ARNOLD, R. G. Comparison of slow sand filtration and microfiltration as pretreatments for inland desalination via reverse osmosis. **Desalination**, v. 334, p. 1-9, 2014.

D’ALESSIO, M.; YONEYAMA, B.; KIRS, M.; KISAND, V.; RAY, C. Pharmaceutically active compounds: Their removal during slow sand filtration and their impact on slow sand filtration bacterial removal. **Science of the Total Environment**, v. 524-525, p. 124-135, 2015.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de tratamento de água**, vol 2. 2ªed. São Paulo: RIMA, 2005.

DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C. S. e HELLER, L. Tratamento de água de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. **ABES**, Rio de Janeiro, 1999.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L.P. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. Vol. 1. São Carlos: Ed. LDIBE LTDA, 2008.

ELLIOT, M.; STAUBER, C. E.; DIGIANO, F. A.; ACEITUNO, A. F.; SOBSEY, M. D.; Investigation of E. coli and Virus Reductions Using Replicate, Bench-Scale Biosand Filter Columns and Two Filter Media. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, p. 10276-10299, 2015.

IORE, M. M.; MINNINGS, K.; IORE, L. D. Assessment of Biosand Filter Performance in Rural Communities in Southern Coastal Nicaragua: an Evaluation of 199 Households. **Rural and Remote Health**, v. 10, p. 1-8, 2010.

FREITAS, E. D. “**Desigualdades Regionais**”; Brasil Escola. 2015. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/desigualdades-regionais.htm>> Acesso em 20/07/2016.

GASTEYER, S. HONG, D. **Are Small Community Systems More at Risk than Other Systems?** Department of Sociology, Michigan State University. Michigan, USA, 2010.

HOUSEHOLD Water Treatment. Livelihood NGO. [201-]. Disponível em <<http://livelihoodngo.cfsites.org/custom.php?pageid=39373>> Acesso em 28/09/2016.

HOW Biosand Water Filtration Systems Work. The Water Project. [201-]. Disponível em <https://thewaterproject.org/biosand_water_filtration> Acesso em 28/09/2016.

HUISMAN, L; WOOD, W. E. Slow Sand Filtration. **World Health Organization**, Geneva, 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2011**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm> Acesso em 19/01/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. PNSB, 2008**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf> Acesso em 19/02/2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios**. Resultados do Universo. Rio de Janeiro, 2011a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: PNAD**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

IRC – International Water and Sanitation Centre. **Small Community Water Supplies: Technology of Small Water Supply Systems in Developing Countries**. Delft, The Netherlands, 2002. 442 p.

ITACA. **An Introduction to Slow Sand Filtration**. 2015. Disponível em <http://www.itacanet.org/doc-archive-eng/water/Intro_SSF.pdf> Acesso em 15/01/2016.

JENKINS, M. W.; TIWARI, S. K.; DARBY, J. Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. **Water Research**, v. 45, p. 6227-6239, 2011.

LINLIN, W.; XUAN, Z.; MENG, Z. Removal of dissolved organic matter in municipal effluent with ozonation, slow sand filtration and nanofiltration as high quality pre-treatment option for artificial groundwater recharge. **Chemosphere**, v. 83, p. 693-699, 2011.

MAGALHÃES, E. V.; SABOGAL PAZ, L. P. **Filtração Lenta Domiciliar como Alternativa de Tratamento de Água para Comunidades Isoladas do Brasil - Desafios na Construção**. Relatório Final. Pesquisa de Iniciação Científica PIBIC/CNPq/USP. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

MANZ, D. H. **Biosand Water Filter Technology Household Concrete Design**. Calgary, Alberta. [s.n.], 2007. 38 p.

Mídia Consulte, “**3,5 milhões de pessoas morrem pela falta de água potável**”. 2013. Disponível em <http://midiaconsulte.com/2013/03/22/35-milhoes-de-pessoas-morrem-pela-falta-de-agua-potavel/> Acesso em 03/09/2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Vigilância e Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasília, 2006.

MURTHA, N. A.; HELLER, L.; LIBÂNIO, M. A Filtração Lenta em Areia Como Alternativa Tecnológica para o Tratamento de Águas de Abastecimento no Brasil. **ABES**, Rio de Janeiro, 1997.

NADRUZ, N. Areia para filtros. **Revista Dae**. São Paulo, n.721, edição 35, 1979.

NAPOTNIK, J.; JELLISON, K. Transport effects on hydraulic loading rate and microbial removal performance in biosand filters. **Journal of Water and Health**, v. 12, n. 4, p. 686, 2014.

NETO, L. G. Desigualdades e Políticas Regionais no Brasil: Caminhos e Descaminhos. **Planejamento e Políticas Públicas**. n. 15. [S.l.], 1997.

- O ESTADO, “**SISAR – Sistema de Saneamento Rural Cearense é referência**”. Disponível em <<http://www.oestadoce.com.br/cadernos/oev/sisar-sistema-de-saneamento-rural-cearense-e-referencia>> Acesso em 04/09/2016.
- PATERNIANI, J. E. S.; ROSTON, D. M. Tecnologias para tratamento e reuso da água no meio rural. In: HAMADA, E. (Ed.) **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.
- PEREIRA, A. C. **O Saneamento em Comunidades Isoladas no Município de Itapetininga (SP)**. 60 p. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- PETERSON, H.; NEAPETUNG, R.; PRATT, R.; STEINHAEUER, A. Development of Effective Drinking Water Treatment Processes for Small Communities with Extremely Poor Quality Water on the Canadian Prairie. **Canadian Society of Environmental Biologists**, v. 64, n. 1, p. 28-35, 2007.
- PFANNES, K. R.; LANGENBACH, K. M. W.; PILLONI, G.; STÜHRMANN, T.; EURINGER, K.; LUEDERS, T.; NEU, T. R.; MÜLLER, J. A.; KÄSTNER, M.; MECKENSTOCK, R. U.; Selective elimination of bacterial faecal indicators in the *Schmutzdecke* of slow sand filtration columns. **Environmental Biotechnology**, v. 99, p. 10323-10332, 2015.
- PINEDA, G. Y. F. **Gestão Comunitária para Abastecimento de Água em Áreas Rurais: Uma Análise Comparativa de Experiências no Brasil e na Nicarágua**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte. 2013.
- PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2011.
- QUIROGA, E.; VISSCHER, J. T. Transferencia de Tecnología em el Sector de Agua y Saneamiento em Colombia. Uma Experiencia de Aprendizaje. Universidad del Valle/CINARA. International Sanitation Center – IRC. Cali, Colombia, 1999.
- VALENCIA, A. Cultura y Sociedad em um Proceso de Selección de Tecnología para Potabilización de Agua em Comunidades Hasta 3000 Habitantes. Seminario Taller Selección de Tecnologías para el Mejoramiento de la Calidad del Agua. IHE, TUDelf, CINARA, Universidade del Valle. Cali, Colombia, 2000.
- WANG, H.; NARIHIRO, T.; STRAUB, A.; PUGH, C. R.; TAMAKI, H.; MOOR, J. F.; BRADLEY, I. M.; KAMAGATA, Y.; LIU, W.; NGUYEN, T. H. MS2 Bacteriophage

Reduction and Microbial Communities in Biosand Filters. **Environmental Science & Technology**, v. 48, p. 6702-6709, 2014.

WELL (Water and Environmental Health at London and Loughborough). **Household water treatment 2 – n.58**. 2004. Disponível em < <http://www.lboro.ac.uk/well/>> Acesso em 18/01/2016.

World Health Organization. **Progress on Sanitation and Drinking Water**. 2015. Disponível em <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/177752/1/9789241509145_eng.pdf?ua=1> Acesso em 23/07/2016.

YOUNG-ROJANSCHI, C.; MADRAMOTOO, C. Intermittent versus continuous operation of biosand filters. **Water Research**, v. 49, p. 1-10, 2014.

YOUNG-ROJANSCHI, C.; MADRAMOTOO, C. Comparing the performance of biosand filters operated with multiday residence periods. **Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, v. 64 (2), p. 157-167, 2015.