

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ  
CAMPUS MACAÉ  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ISABELA MOREIRA BESSA

**FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR COMO PROPOSTA PARA O TRATAMENTO  
DE ÁGUA EM UMA COMUNIDADE RURAL: ESTUDO DE CASO NO  
ACAMPAMENTO DO MST EDSON NOGUEIRA EM MACAÉ/RJ**

**MACAÉ- RJ**

**2020**

ISABELA MOREIRA BESSA

**FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR COMO PROPOSTA PARA O TRATAMENTO  
DE ÁGUA EM UMA COMUNIDADE RURAL: ESTUDO DE CASO NO  
ACAMPAMENTO DO MST EDSON NOGUEIRA EM MACAÉ/RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Beatriz Rohden Becker, M.Sc.

Coorientadora: Caroline Guilherme, D.Sc.

**Macaé- RJ**

**2020**

ISABELA MOREIRA BESSA

**FILTRAÇÃO LENTA DOMICILIAR COMO PROPOSTA PARA O TRATAMENTO  
DE ÁGUA EM UMA COMUNIDADE RURAL: ESTUDO DE CASO NO  
ACAMPAMENTO DO MST EDSON NOGUEIRA EM MACAÉ/RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Beatriz Rohden Becker, M.Sc. - Orientadora  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

---

Profa. Caroline Guilherme, D.Sc. – Coorientadora  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

---

Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, D.Sc.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

---

Prof. Mauricio Aguilar Nepomuceno de Oliveira, M.Sc.  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado condições físicas e mentais para encarar os desafios que a universidade proporcionou e por todas as pessoas que Ele colocou no meu caminho.

À UFRJ Macaé e a todos os meus professores por todo o conhecimento fornecido. Saio da universidade bem mais forte e confiante para encarar as oportunidades que a vida vier a oferecer.

Agradeço aos meus professores Beatriz Becker e Rafael Malheiro, pela forma que transmitiram os seus conhecimentos sobre saneamento, drenagem urbana, hidrologia e hidráulica, o que me deixou ainda mais apaixonada por essa área, na qual irei construir carreira.

Aos meus pais, pelo amor, pelo cuidado e por terem me dado condições de estudar, apesar de não terem a menor ideia do que eu estava encarando.

Aos meus amigos que fiz em Macaé e no estágio da Projetae, se não fosse a cooperação destes, essa jornada teria sido muito mais dura.

Ao Mendel, meu namorado, pela sua capacidade incrível em incentivar as pessoas e por ter me ajudado a enxergar que sou capaz de conquistar muito mais do que imaginava.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

Muito obrigada!

## RESUMO

É devido ao cenário desafiador em que se encontra o abastecimento de água em regiões rurais brasileiras, com índice de atendimento muito abaixo daquele registrado em áreas urbanas, que este trabalho tem por objetivo, a partir da instalação de um filtro lento domiciliar (FLD) piloto, contribuir com o acesso à água potável no Acampamento Edson Nogueira (MST), em Macaé/RJ. Com a instalação do filtro e o seu funcionamento, serão propostas melhorias para o sistema construído, buscando em todas as ações, a participação da comunidade envolvida. Por meio do estudo de caso desenvolvido, descreveu-se o filtro lento domiciliar piloto, construído no Acampamento, bem como os materiais utilizados, a disposição das camadas do filtro e as análises realizadas na água afluyente e efluente ao filtro. Apesar de o sistema de tratamento instalado no Acampamento ainda estar sendo analisado quanto a sua eficiência e, algumas oportunidades de melhorias na concepção do filtro piloto e na sua amostragem já terem sido apontadas neste trabalho, é possível dizer que o filtro lento domiciliar é uma tecnologia viável para as comunidades menos favorecidas, por ser de baixo custo e por não requerer mão de obra especializada, além de reduzir a incidência de doenças causadas por veiculação hídrica, melhorando assim, a qualidade de vida da população rural.

**Palavras-chave:** Tratamento de água; Áreas rurais; Filtro lento domiciliar; FLD.

## **ABSTRACT**

Faced with the challenging scenario of water supply in rural regions of Brazil, with an availability rate far below that registered in urban areas, this paper aims to install a pilot of the Biosand Filter, at Camp Edson Nogueira (MST) in Macaé/RJ, to study the feasibility of this water treatment technology, as well as to propose improvements to the built system, as a solution to the lack of access to drinking water. Through the developed case study, the pilot household slow filter was described, built in the camp, as well as the materials used, the layout of the filter layers and the analyses performed on the water affluent and the effluent to the filter. Although the treatment system installed in the Camp is still being analyzed for its efficiency and, some opportunities for improvements in the design of the pilot filter and in its sampling have already been pointed out in this work, it is possible to say that the household Biosand filter is a viable technology for less favoured communities, because it is low cost and does not require skilled labour, in addition to reducing the incidence of diseases caused by water transport, thus improving the life quality of the rural population.

**Keywords:** Water treatment; Rural regions; Biosand Filter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estimativa da redução de diarreias com base na melhora dos sistemas de abastecimento (Fonte: Adaptado de WHO, 2014).....	3
Figura 2: Cobertura global de fontes preservadas ou tratadas de água (WHO,2014) .....	4
Figura 3: Níveis de atendimento com rede de água e esgoto dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018 (SNIS, 2018).....	5
Figura 4: Escherichia Coli (Fonte: Alissa Eckert, 2016).....	11
Figura 5: Componentes do FLD (Adaptado de CAWST, 2012) .....	16
Figura 6: Zonas dos filtros lentos em escala domiciliar (Fonte: Adaptado de CAWST, 2010) .....	18
Figura 7: Esquema indicativo entre meio ambiente e alternativas de tratamento (PROSAB, 1999).....	19
Figura 8: Localização do acampamento Edson Nogueira (Fonte: autora). .....	22
Figura 9: Captação de água no Córrego do Atalaia (Dunga e suas lentes, 2019). .....	22
Figura 10: Placa de identificação da CEDAE na captação no Córrego do Atalaia (Dunga e suas lentes, 2019).....	23
Figura 11: Coletor de água da captação do Córrego do Atalaia (Dunga e suas lentes, 2019)..	23
Figura 12: Trecho da adutora do sistema de abastecimento do córrego do Atalaia que atravessa o acampamento Edson Nogueira (Autora). .....	23
Figura 13: Localização do acampamento Edson Nogueira em relação ao Parque Atalaia (Fonte: Autora).....	24
Figura 14: Pontos de água do Acampamento Edson Nogueira (Fonte: Autora). .....	25
Figura 15: Turbidímetro utilizado na análise de turbidez do filtro piloto do acampamento (Autora). .....	26
Figura 16: Amostras com resultado positivo para Coliformes Totais e E. Coli (Fonte: Autora). .....	26
Figura 17: Acampados e estudantes na montagem do sistema hidráulico (Fonte: Autora). ...	28
Figura 18: Tanques e acessórios do sistema de filtração lenta do Acampamento do MST Edson Nogueira (Fonte: autora). .....	30

Figura 19: (A) Início da disposição do pedregulho grosso; (B) pedregulho grosso cobrindo tubo de saída; (C) disposição do pedregulho fino; (D) disposição da camada de areia (Fonte: Autora). .....	31
Figura 20: Camada biológica formada, após 5 meses, na primeira disposição das camadas do filtro (Fonte: Autora). .....	32
Figura 21 : Lavagem da areia fina (Foto da Autora). .....	33
Figura 22: Instruções para o teste de jarros, a ser feito em campo, para verificar a quantidade ideal de lavagens do material filtrante (Adaptado do Manual de Construção do Biofiltro de Areia de CAWST, 2012). .....	33
Figura 23: Recolocação da camada de areia fina disposta (Fonte: Autora). .....	34
Figura 24: Início da formação da camada biológica, após 30 dias de operação, na segunda disposição das camadas do filtro (Fonte: Autora). .....	34
Figura 25: Fotos ilustrando a camada biológica de filtros lentos (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008). .....	36
Figura 26: Clorador de pastilhas (EMBRAPA, 2014). .....	38
Figura 27: Kit para medir a quantidade de Cloro (EMBRAPA, 2014). .....	39
Figura 28: Como medir a quantidade de cloro na água (EMBRAPA, 2014). .....	39
Figura 29: Comparação da cor da água com a escala de cor do kit (EMBRAPA, 2014). .....	40



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Funções dos componentes do FLD (Adaptado de CAWST, 2012).....	16
<b>Tabela 2</b> - Granulometrias recomendadas para a filtração lenta convencional e domiciliar (PROSAB, 1999 e CAWST, 2012). .....	17
<b>Tabela 3</b> - Funções das zonas do filtro lento domiciliar (CAWST, 2010) .....	18
<b>Tabela 4</b> -Parâmetros recomendados para o uso da filtração lenta (Di Bernardo e Dantas, 2005). .....	19
<b>Tabela 5</b> – Dados de qualidade das águas utilizadas no acampamento.....	27
<b>Tabela 6</b> - Materiais utilizados na construção da unidade piloto do filtro lento domiciliar no acampamento Edson Nogueira. ....	28
<b>Tabela 7</b> - Resultados das análises da água bruta e da água filtrada pelo filtro piloto de areia. .....	35
<b>Tabela 8</b> - Coliformes Totais em diferentes ETAs da Colômbia (Galvis et al. 1999).....	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**APHA** – *American Public Health Association*

**AWWA** – *American Water Works Association*

**CAWST** – *Center for Affordable Water and Sanitation*

**CEDAE** - Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**ETA** - Estação de Tratamento de Água

**FLD** - Filtro Lento Domiciliar

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ITAL** – Instituto de Tecnologia de Alimentos

**MUG** - 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucoronídeo

**MST** - Movimento dos Sem Terra

**NUPEM** - Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade

**NTU** – *Nephelometric turbidity Unit*

**ODS** - Objetivo do Desenvolvimento Sustentável

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**PROSAB** – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

**SNIS** - Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento

**uT** - Unidades de Turbidez

**WEF** – *Water environment Federation*

**WHO** - *World Health Organization*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Contextualização e Problematização</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b>	<b>2</b>
<b>2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS</b>	<b>3</b>
<b>3 BREVE DESCRIÇÃO SOBRE O MOVIMENTO SEM TERRA</b>	<b>6</b>
<b>4 QUALIDADE DAS ÁGUAS E PARÂMETROS PARA PRÉ-SELEÇÃO DA TECNOLOGIA DE TRATAMENTO</b>	<b>8</b>
<b>4.1 Turbidez</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Cor</b>	<b>9</b>
<b>4.3 Sólidos Suspensos Totais</b>	<b>9</b>
<b>4.4 Microrganismos Indicadores de Risco Biológico</b>	<b>9</b>
<b>4.5 Ferro e Manganês</b>	<b>11</b>
<b>4.6 Algas, Cianobactérias e Cianotoxinas.</b>	<b>11</b>
<b>5 FILTRO LENTO DE AREIA</b>	<b>13</b>
<b>5.1 Filtro Lento Domiciliar</b>	<b>15</b>
<b>5.1.1 Modo de Operação do Filtro Lento Domiciliar</b>	<b>18</b>
<b>5.2 Parâmetros Limites Para o Uso da Filtração Lenta</b>	<b>19</b>
<b>6 ESTUDO DE CASO</b>	<b>21</b>
<b>6.1 Caracterização do Local de Estudo</b>	<b>21</b>
<b>6.2 Caracterização da Água Bruta</b>	<b>24</b>
<b>6.3 Construção da Unidade Piloto do Filtro Lento Domiciliar</b>	<b>27</b>
<b>6.3.1 Materiais Utilizados</b>	<b>28</b>
<b>6.3.2 Montagem do Sistema Hidráulico</b>	<b>30</b>
<b>6.3.3 Disposição das Camadas do Filtro Lento Piloto Domiciliar</b>	<b>30</b>

<b>6.4 Avaliação da Qualidade da Água</b>	34
<b>6.5 Propostas de Melhoria</b>	35
<b>6.5.1 Adequação da Espessura da Camada de Areia Fina e Realização de Análises Quantitativas da Remoção de Bactérias</b>	35
<b>6.5.2 Adequação da Camada Suporte</b>	37
<b>6.5.3 Desinfecção</b>	37
<b>6.5.4 Realização de Análises Representativas</b>	40
<b>7 CONCLUSÃO</b>	42

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização e Problematização

Em 2017, estima-se que 2,2 bilhões de pessoas no mundo, ou seja, 29% da população global, careciam de um serviço de água potável. Esses números também incluem as 144 milhões de pessoas que coletam água não tratada para beber (WHO/UNICEF, 2017). Apesar do problema também existir em grandes centros, há uma desigualdade entre a situação das áreas urbanas e das rurais, visto que a cada dez pessoas sem acesso ao saneamento, sete vivem em áreas rurais (WHO/UNICEF, 2017).

O cenário mundial se aplica à realidade do Brasil, pois, entre os serviços de distribuição de água, o abastecimento rural adequado apresenta menor abrangência quando comparado com os serviços prestados na área urbana (WHO/UNICEF, 2017). Segundo o último Censo realizado pelo IBGE, 72,2% da população rural brasileira ainda acessa água apenas por meio de poços, cacimbas, açudes e barreiros, que ocorre muitas vezes de forma precária e com grande potencial para provocar doenças (IBGE, 2010).

Os municípios menores, periferias urbanas e áreas rurais, sobretudo as comunidades tradicionais, são as que menos se beneficiam de sistemas abastecimento, tanto em relação aos níveis de atendimento quanto à qualidade dos serviços (IBGE, 2010). Logo, se no Brasil e nos países em desenvolvimento como um todo, a universalização dos serviços de abastecimento de água ainda é uma meta distante, a situação nas comunidades isoladas das redes públicas é ainda mais grave.

Nestas circunstâncias, os sistemas descentralizados ou individuais apresentam-se como alternativa para o tratamento de água, pois caracterizam-se por possuírem o tratamento próximo aos consumidores finais, com técnicas adequadas e factíveis para uma realidade rural, podendo ser adaptadas de acordo com cada demanda, avaliando-se os critérios sociais, econômicos e ambientais (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

Nas comunidades isoladas, soluções individuais podem ser utilizadas como um método de tratamento de água, ajudando as populações desabastecidas de fontes confiáveis a terem melhores condições de saúde. Nesse contexto, o tratamento da água por filtro lento domiciliar de areia pode ser uma ótima solução, quando os parâmetros de qualidade da água bruta permitem o seu uso, e quando esse sistema é construído e operado de forma correta. Essa

tecnologia é recomendada para algumas regiões carentes, pois não requer pessoal qualificado para operar e manter o sistema (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

O Acampamento Edson Nogueira, que pertence ao Movimento dos Sem Terra e está localizado em Macaé/RJ, se enquadra nessa situação. É fixado em área rural e não recebe atendimento por rede de abastecimento de água potável. Por tal motivo, os acampados utilizam água proveniente de uma adutora de água bruta e de poços, todas fontes sem tratamento. Através de análises realizadas na água consumida, constatou-se a presença das bactérias Coliformes Totais e *Escherichia Coli*, o que indica um alto risco microbiológico.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral instalar um filtro lento domiciliar (FLD) piloto de escoamento contínuo no Acampamento do MST Edson Nogueira em Macaé/RJ, para estudo da viabilidade dessa tecnologia de tratamento de água, bem como propor melhorias para o sistema construído, como solução à falta do acesso à água potável.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar a caracterização da água bruta recebida pelo Acampamento, a partir de análises de qualidade (turbidez, Coliformes Totais e *E. Coli*) para verificar a viabilidade da pré-seleção da filtração lenta como alternativa de tratamento;
- Dimensionar e levantar os materiais necessários para instalação do filtro lento domiciliar piloto;
- Durante as visitas ao Acampamento (para instalação e acompanhamento do filtro), expor à comunidade do Acampamento em linguagem acessível, o funcionamento e a importância do tratamento da água para consumo humano, estando sempre à disposição para questionamentos e sugestões;
- Acompanhar o funcionamento do filtro lento domiciliar piloto a partir de visitas ao Acampamento, com a coleta de amostras da água afluyente e efluyente ao filtro para análise;
- Durante o acompanhamento do funcionamento do filtro, propor uma forma de realizar a desinfecção, estudar oportunidades de melhoria na concepção do filtro lento domiciliar piloto construído e nos métodos de amostragem.

## 2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁREAS RURAIS

Em 2014, a Organização Mundial da Saúde (OMS) relatou que 842.000 pessoas em países subdesenvolvidos morrem anualmente devido às condições inadequadas de água, esgoto e higiene, sendo que 58% do total dessas mortes são causadas por diarreia. A diarreia é uma das doenças que mais aflige a humanidade e como uma das principais causas destaca-se as condições inadequadas de saneamento (NAPURÍ *et al.*, 2009). Em relação à causa da morte, 47% das mortes podem ser atribuídas à água potável insegura e insuficiente, 26% resultam de serviços de esgoto inadequados, e outras 28% decorrem da lavagem inadequada das mãos. Logo, a questão sanitária é um contribuinte muito importante para a qualidade da saúde humana (WHO, 2014).

O relatório da OMS divulgado em 2014 (WHO, 2014) aponta que o número de mortes por diarreia poderia diminuir com intervenções no abastecimento de água, reduzindo 45% dos casos se fossem implantados tratamentos de água nos domicílios, como filtração, fervura, cloração e desinfecção por raios solares. Quando há rede de distribuição, com um gerenciamento sistemático e efetivo, espera-se que o risco de doenças reduza em 73% em relação somente à água distribuída (WHO, 2014). A Figura 1 mostra as estimativas de redução de diarreias nesses cenários.



Figura 1: Estimativa da redução de diarreias com base na melhora dos sistemas de abastecimento (Fonte: Adaptado de WHO, 2014)

Nos países em desenvolvimento, a cobertura dos serviços de abastecimento de água varia imensamente e pode ser bastante desigual a depender das especificidades econômicas e geográficas de cada região (Figura 2 e Figura 3).

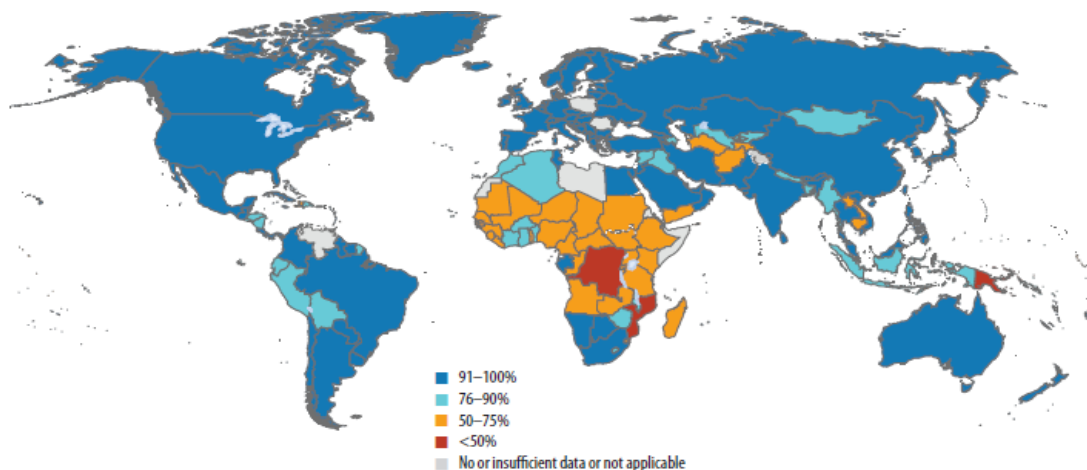


Figura 2: Cobertura global de fontes preservadas ou tratadas de água (WHO,2014)

Assim como outros países em desenvolvimento, o Brasil apresenta desigualdades elevadas no acesso aos serviços de abastecimento de água, sobretudo no que se refere às regiões Norte e Nordeste, pequenos municípios, periferias urbanas, áreas rurais e comunidades tradicionais (IBGE, 2010).

A Lei 11.445/2007 é o principal marco regulatório do saneamento no Brasil e, entre os seus princípios fundamentais, destaca-se a universalização dos serviços públicos de saneamento básico, conceituada como “ampliação progressiva do acesso de todos os domicílios ocupados ao saneamento básico”. Ainda, a Lei estabelece que a União deve garantir os meios adequados para o atendimento da população tanto urbana quanto rural, utilizando soluções compatíveis com as suas características econômicas e sociais peculiares (BRASIL, 2007).

Nesse contexto, ainda que a referida Lei preconiza o direito ao acesso dos serviços de saneamento a todos os municípios, o país ainda enfrenta enormes desafios em busca da universalização. A desigualdade de cobertura das redes de abastecimento pode variar de acordo com a região, renda e área urbana ou rural. Em relação à distribuição regional, o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2018) apontou que o Sudeste possui 91,0% de cobertura por redes de abastecimento de água. Já as regiões Nordeste e Norte têm, respectivamente, 74,2% e 57,1% de cobertura de rede de água (Figura 3).



Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)			
	Água		Coleta de esgotos	
	Total	Urbano	Total	Urbano
	(IN055)	(IN023)	(IN056)	(IN024)
Norte	57,1	69,6	10,5	13,3
Nordeste	74,2	88,7	28,0	36,3
Sudeste	91,0	95,9	79,2	83,7
Sul	90,2	98,6	45,2	51,9
Centro-Oeste	89,0	96,0	52,9	58,2
<b>Brasil</b>	<b>83,6</b>	<b>92,8</b>	<b>53,2</b>	<b>60,9</b>

Figura 3: Níveis de atendimento com rede de água e esgoto dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018 (SNIS, 2018).

É possível ainda observar ainda na Figura 3 que o índice de atendimento com rede em áreas urbanas é sempre maior quando comparado à população total. Esta defasagem se dá pela dispersão das comunidades rurais por todo o território, logo, há uma maior dificuldade para implementar soluções convencionais, como ocorre nas cidades com grandes estações de tratamento de água e redes de abastecimento, pois a dispersão de grande parte das comunidades rurais demanda extensas redes de abastecimento com a necessidade de bombeamento para manter a pressão da água e, muitas vezes, para pequenas vazões, o que torna, na maioria das vezes, os sistemas centralizados economicamente inviáveis nessas regiões. Nestes casos, as soluções descentralizadas, alternativas ou individuais se mostram mais adequadas.

Tais soluções também se tornam recursos viáveis para a universalização do acesso aos serviços de saneamento (principalmente água e esgoto) em países em desenvolvimento, uma vez que esses países possuem limitados recursos financeiros para investir em sistemas centralizados.

No Brasil, existem milhares de comunidades rurais, que são extremamente plurais em suas características. No entanto, grande parte delas enfrenta o mesmo problema da falta de acesso à rede de abastecimento de água, o que as fazem consumir água diretamente de rios, poços e açudes, aumentando o risco associado ao consumo da água não tratada (IBGE, 2010).

Um tipo de comunidade rural em específico, que faz parte do estudo de caso deste trabalho (Acampamento Edson Nogueira), são acampamentos e assentamentos do Movimento dos trabalhadores Sem Terra (MST).

### **3 BREVE DESCRIÇÃO SOBRE O MOVIMENTO SEM TERRA**

De acordo com Caldart (2001), o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra, também chamado de Movimento dos Sem Terra ou MST, foi criado em consequência da má distribuição histórica das terras agrícolas no Brasil. As articulações das lutas pela terra foram retomadas no final da década de 70, principalmente na região Centro-sul do país e, aos poucos, expandiu por todo o Brasil. O MST tem como objetivo “Lutar pela terra, pela reforma agrária e pela construção de uma sociedade mais justa, sem explorados ou exploradores”. O MST contabiliza um número de aproximadamente 350 mil famílias entre assentados e acampados (MST, [s.d.]). Um número pequeno, porém, expressivo, diante de mais de 4,5 milhões de famílias sem-terra existentes no país (CALDART, 2001).

Durante a história do MST foram conquistadas diversas áreas do latifúndio, que se tornaram lugares de trabalho para muitas famílias, que agora produzem alimentos para a subsistência e para outros. A produção é organizada por cooperativas de trabalhadores Sem Terra e unidades agroindustriais, o objetivo principal é a eliminação da fome a redução dos índices de mortalidade infantil nos assentamentos espalhados pelo país (CALDART, 2001). O MST também estimula e desenvolve a educação, em escolas conquistadas nas áreas de assentamento e acampamento, com movimentos massivos de educação de jovens e adultos e também na formação de técnicos e educadores em cursos de nível médio e superior, assim como diversas outras iniciativas (CALDART, 2001).

Os latifúndios desapropriados para a criação de assentamentos normalmente não possuem infraestrutura como saneamento, energia elétrica etc. Por isso, as famílias assentadas seguem organizadas para conquistarem seus direitos básicos (MST, [s.d.]).

As ocupações a princípio se dão na forma de acampamentos, que são lugares sociais onde os sem-terra mantêm um conjunto de barracos como forma de resistência, dentro de uma fazenda ou beira de estrada (FERNANDES, [s.d.]) e, apenas após a posse da terra que os acampamentos se tornam Assentamentos. Ainda durante o período de Acampamento é importante criar uma infraestrutura social para atender diferentes demandas das famílias acampadas, desde educação, saúde, segurança e saneamento, visto que geralmente as áreas ocupadas não possuem nenhuma infraestrutura. Por isso, é necessário buscar soluções simples, pois a área ocupada ainda não é de posse dos acampados, como é o caso da tecnologia de tratamento de água por filtro domiciliar de areia, que resolve a falta de acesso à água tratada, quando as características ambientais permitem o seu uso.

O Acampamento Edson Nogueira, localizado em Macaé/RJ e objeto de estudo deste trabalho pertence ao Movimento dos Trabalhadores sem Terra. Sua população, assim como a dos outros Acampamentos do MST, é proveniente de diversos ambientes sociais excluídos, como favelas e trabalhadores rurais sem emprego e sem-terra própria para realizar os seus cultivos, pessoas que encontraram no Movimento uma oportunidade de conquistar o seu espaço, para construir suas moradias e para produzir alimento. Uma grande parte dos acampados são negros, devido ao histórico brasileiro de escravidão e devido à exclusão dessa grande parcela da população após a abolição que, por causa do racismo institucional enrustado na sociedade, são mantidos em situação de vulnerabilidade. O racismo transcende o preconceito racial e se materializa nas diferentes relações sociais, estruturalmente coloca-se como racismo institucional. Um reflexo do racismo institucional é o racismo ambiental no Brasil com a exclusão de populações vulneráveis que não têm água sequer para as suas necessidades básicas (ABREU, 2013).

Os acampados fazem parte de uma parcela da população a qual está sujeita ao racismo institucional e ambiental, pessoas às quais possuem poucos recursos financeiros e sofrem, por não possuírem acesso adequado a moradias, educação e oportunidades para seu desenvolvimento. A vulnerabilidade é composta por diversos fatores responsáveis pela “exclusão social” de uma parcela da população. Entre eles, podemos incluir questões históricas, de raça, de gênero e de orientação sexual. Essas questões fazem com que diversos cidadãos sofram com a falta de representatividade e de oportunidades. Com isso, se encontram em uma situação de desequilíbrio, pois não têm o mesmo acesso a oportunidades que outros grupos sociais. A falta de acesso a direitos básicos como saneamento, moradia adequada e educação, faz com que essa vulnerabilidade seja perpetuada, nesses grupos, historicamente desfavorecidos.

Com o desenvolvimento agropecuário e a modernização do campo das últimas décadas transformações profundas foram causadas no campo, que privilegiaram a agricultura capitalista em detrimento da agricultura camponesa (FERNANDES, [s.d.]). As desigualdades socioeconômicas foram acentuadas devido à conservação da estrutura fundiária, o que intensificou as lutas pela terra. Com a crise política gerada por essa concentração de riquezas no campo, milhares de famílias migraram para as cidades e, com isso, ocorreu o surgimento de inúmeros sem-terra. No campo, essas pessoas estão sujeitas ao trabalho escravo e nas cidades são, muitas vezes, obrigadas a viverem em áreas marginalizadas, como nas favelas, onde, quase sempre não há moradia, saneamento e empregos adequados.

## **4 QUALIDADE DAS ÁGUAS E PARÂMETROS PARA PRÉ-SELEÇÃO DA TECNOLOGIA DE TRATAMENTO**

Segundo Di Bernardo & Sabogal Paz (2008), existe uma relação intrínseca entre a qualidade da água bruta e a tecnologia de tratamento mais apropriada. Certos parâmetros de qualidade da água podem ser considerados para a pré-seleção da escolha de tratamento a ser usada. No entanto, apenas com testes de bancada ou com estudos em estações piloto que um tipo de tecnologia de tratamento pode ser considerado ou descartado.

A água a ser consumida pelos brasileiros precisa obedecer a critérios definidos no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017 do Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade. Para um tipo de tecnologia de tratamento produzir água tratada dentro dos padrões de potabilidade, é necessário considerar os parâmetros de qualidade da água bruta a ser tratada. Todo o tipo de água pode ser tratada para atender ao padrão de potabilidade, no entanto, a depender da qualidade dessa água bruta, os custos podem ser elevados. No caso de muitas comunidades rurais brasileiras, nem sempre há recursos disponíveis para tecnologias de tratamento sofisticadas e, nestes casos, é importante considerar tecnologias apropriadas, para tratamentos econômicos e eficazes. A seguir são descritos os principais parâmetros considerados na pré-seleção de uma tecnologia de tratamento (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

### **4.1 Turbidez**

Segundo Von Sperling (1996), “A turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma”. É constituída por sólidos em suspensão que causam a absorção da luz. A origem natural da turbidez é relacionada à presença de partículas de rocha, argila e silte e a origem antropogênica é relacionada aos despejos domésticos, industriais, microrganismos e a erosão.

Quando de origem natural, a turbidez não causa problemas sanitários, no entanto, a água pode possuir uma aparência desagradável, gerando rejeição pelo consumidor. Além disso, a turbidez pode servir de suporte para microrganismos causadores de doenças e, assim, diminuir a eficácia da desinfecção. Já nos corpos d’água, como a turbidez atrapalha a penetração da luz, ela tende a diminuir o processo de fotossíntese neste meio (VON SPERLING, 1996).

## **4.2 Cor**

A classificação da coloração na água pode ser dividida em cor verdadeira e cor aparente. Na cor verdadeira, há apenas a contribuição da cor causada pelos sólidos dissolvidos que permitem a passagem da luz. Já na cor aparente, além da cor causada pelos sólidos dissolvidos, há a contribuição de cor causada pelos sólidos suspensos, que conferem turbidez (VON SPERLING, 1996).

A origem natural da cor pode ser causada pela matéria orgânica decomposta, principalmente por vegetais (ácidos húmicos e fúlvicos) e por ferro e manganês. Já a cor de origem antropogênica pode ocorrer por resíduos industriais como tinturarias, tecelagem, produção de papel, além da contribuição dos despejos de esgotos domésticos (VON SPERLING, 1996).

Quando de origem natural, a cor não apresenta risco direto à saúde, no entanto, a desinfecção da água com matéria orgânica dissolvida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos, como os trihalometanos. Já a cor de origem industrial, pode ou não ser tóxica, a depender da composição (VON SPERLING, 1996). A medição de cor verdadeira é feita após a amostra ser microfiltrada ou centrifugada eliminando a interferência da turbidez que pode afetar o resultado da medição.

## **4.3 Sólidos Suspensos Totais**

Os sólidos suspensos totais (SST) são compostos pelas partículas que possuem mais de 1µm. O parâmetro é importante, pois influencia algumas tecnologias de tratamento como a filtração lenta, onde a depender da quantidade de SST, pode ocorrer a obstrução muito rápida do filtro, limitando os mecanismos biológicos e físicos de remoção) (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008). Os SST configuram a parcela de sólidos de uma amostra que fica retida em um filtro (geralmente membrana de 0,45 mm) (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

## **4.4 Microrganismos Indicadores de Risco Biológico**

### *Coliformes Totais*

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017), as bactérias do grupo dos coliformes são excretadas nas fezes dos animais de sangue quente e dos humanos. Entretanto, algumas espécies são heterotróficas e podem se reproduzir em ambientes como a

água e o solo. Por este motivo, os coliformes não são os melhores indicadores de contaminação fecal, pois sua presença não está relacionada apenas às fezes.

No entanto, os coliformes são bons indicadores para a avaliação da limpeza da integridade dos sistemas de distribuição. O anexo XX da Portaria de consolidação nº 5 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017) determina a ausência de coliformes totais nos sistemas de distribuição. A ausência de coliformes pode ser obtida com facilidade pelos processos de desinfecção nas Estações de Tratamento de Água, pois os coliformes são sensíveis aos desinfetantes mais comuns, como o cloro, por exemplo. Caso a presença de coliformes após a desinfecção seja detectada, este fato é um indicador de que o tratamento foi inadequado, sendo necessário tomar medidas para corrigir o sistema.

### *Escherichia Coli*

As bactérias *Escherichia Coli* estão presentes, geralmente sem causar dano, na flora intestinal dos humanos e dos animais de sangue quente. No entanto, algumas estirpes são versáteis e podem ser letais devido aos quadros de diarreia aguda e crônica, cólicas abdominais, vômito, náuseas e infecções urinárias (WHO, 2017). Estas doenças podem ser contraídas através do consumo de água proveniente de mananciais contaminados e pela lavagem de alimentos. As cepas patogênicas são transmitidas via fecal-oral.

Em pessoas com o sistema imunológico normal, a infecção causada por esses organismos pode ser combatida pelo próprio corpo humano, mas em indivíduos com o sistema imunológico debilitado, como em portadores do vírus da AIDS e crianças com menos de dois anos, os sintomas podem ser agressivos (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

A *E. coli* é utilizada como indicador de contaminação fecal, pois está presente em grande número nas fezes e por ser facilmente isolada em laboratório. Segundo Geldereich (1996), as fezes humanas e de animais de sangue quente podem conter até  $10^8$  bactérias de *E.coli* por grama.

Na utilização da *E. Coli* como indicador de contaminação fecal, sua ausência indica também a ausência de outros microrganismos. No entanto, essa informação tem sido contestada, pois a *E. Coli* é mais sensível aos desinfetantes normalmente utilizados do que os vírus entéricos e os cistos e oocistos de protozoários (WHO, 2017). Por isso, a ausência de *E. Coli*, não indica, necessariamente, a ausência de outros microrganismos patogênicos mais resistentes.

A *E.Coli* ainda é utilizada como indicador de contaminação fecal devido a sua facilidade laboratorial, no entanto amostragens de outros microrganismos como *Giardia spp* e a oocistos de *Cryptosporidium spp* devem ser realizados quando o manancial possuir valores de *E.coli* superiores a 1000 /100mL (Figura 4) (BRASIL, 2017).



Figura 4: *Escherichia Coli* (Fonte: Alissa Eckert, 2016).

#### 4.5 Ferro e Manganês

Segundo Von Sperling (1996), o ferro e o manganês estão presentes nas formas insolúveis ( $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ ) em variados tipos de solos e, na ausência de oxigênio dissolvido, estes se apresentam na forma solúvel ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ ), porém, quando expostos ao ar atmosférico, eles voltam a se oxidar para suas formas insolúveis, podendo causar coloração na água. São constituídos por sólidos em suspensão ou dissolvidos, provenientes da dissolução de compostos do solo ou de fontes de despejos industriais (VON SPERLING, 1996).

#### 4.6 Algas, Cianobactérias e Cianotoxinas.

As algas diferem dos demais microrganismos devido à presença de um pigmento interno verde (clorofila) que as tornam capazes de sintetizar compostos orgânicos a partir de matéria prima inorgânica na presença de luz solar. As algas de maior interesse no tratamento de água são: as algas verdes (ou clorofíceas), as diatomáceas (ou bacilariofíceas) e as cianobactérias (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

A eutrofização decorrente das crescentes atividades antrópicas é a causa principal do aumento da frequência e intensidade das florações de algas e cianobactérias, pois enriquecem artificialmente as águas naturais com diversos compostos proveniente da agricultura, despejos domésticos e industriais (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

Vários gêneros e espécies de cianobactérias que forma florações podem produzir toxinas (Cianotoxinas), as quais apresentam efeitos danosos à biota aquática e a saúde humana. Algumas doenças gastrointestinais e hepáticas podem ser atribuídas à presença de Cianotoxinas em águas de abastecimento. Os processos e as operações unitárias comumente utilizadas nas

ETAs não removem eficientemente esses compostos (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008)..

As algas, em geral, podem causar sérios problemas operacionais nas estações, podendo flotar nos decantadores, sendo carreadas para os filtros, obstruindo-os em poucas horas de funcionamento. Quando presentes em quantidade expressiva, algumas espécies de algas podem passar pelos filtros e causar odor e gosto na água tratada, além de possibilitar a formação de substância organocloradas. Nesse caso, é importante considerar que o tratamento de água em ciclo completo é ineficiente na remoção dessas células e das cianotoxinas, porém o uso de oxidação química e adsorção em carvão ativado podem resultar eficientes na remoção desse risco (GRAY, 1994).



## 5 FILTRO LENTO DE AREIA

A filtração é um processo essencial na produção de água segura para o consumo humano. A Portaria de Consolidação nº 5, anexo XX, do Ministério da Saúde exige que toda a água proveniente de manancial superficial deve ser filtrada. A filtração pode ser classificada em: rápida, com taxas de filtração entre 150 e 600 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d ou lenta, com taxas inferiores a 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

Para a filtração rápida ser utilizada, a água bruta deve passar pelos processos unitários de coagulação química, floculação, decantação ou flotação, se necessário, e depois pela filtração com material filtrante de granulometria superior à da filtração lenta. Já na filtração lenta, como a coagulação química geralmente não é utilizada, a água bruta deve possuir características apropriadas para o processo ser eficaz (PROSAB, 1999).

A filtração lenta é bastante afetada pela turbidez, pois este parâmetro indica indiretamente a quantidade de partículas em suspensão e coloidais, nas quais os microrganismos buscam suporte. Para que a água filtrada apresente turbidez dentro dos parâmetros estabelecidos e para que a carreira de filtração tenha uma duração superior a 1 mês, Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) limitam a turbidez afluente dos filtros lentos em 10 uT.

Nos últimos anos, certas adaptações foram estudadas com o intuito de tornar a filtração lenta mais eficiente, como por exemplo, o uso de mantas sintéticas (preferencialmente em polipropileno) acima da areia fina, para possibilitar a adoção de maiores taxas de filtração, além de facilitar a limpeza e a utilização de carvão ativado granular junto com a areia fina, favorecendo a remoção de matéria orgânica dissolvida, o que normalmente não ocorre apenas com o uso da areia fina (PROSAB,1999).

No começo da operação do filtro lento, o meio filtrante encontra-se limpo, por isso a capacidade de remoção de impurezas ainda é relativamente baixa. É necessário esperar o período de amadurecimento, para que seja formada a camada biológica no topo da areia, conhecida por “Schmutzdecke”. Apenas após a formação desta camada que a água produzida pelo filtro lento possui qualidade aceitável (PROSAB, 1999).

O *Schmutzdecke* é formado, principalmente, por partículas inertes, matéria orgânica, e variados microrganismos, como bactérias, algas, protozoários, metazoários, etc., além de precipitados de ferro e manganês quando estes metais se encontram dissolvidos na água bruta (PROSAB,1999).

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), no início da filtração com o meio filtrante limpo, predomina a ação física de coar, onde são retidas as partículas maiores que os vazios intergranulares. Com o tempo, com o aumento da quantidade de partículas retidas no topo, ocorre a diminuição dos vazios intergranulares e, com isso, tanto partículas quanto microrganismos começam a ser retidos. No topo da camada filtrante ocorre a formação da camada biológica aeróbia (*Schmutzdecke*), causada pela presença dos microrganismos e do oxigênio.

A atividade biológica é a ação mais importante que ocorre na filtração lenta, sendo mais expressiva no topo do meio filtrante, até cerca de 40 cm de profundidade. A eficiência da filtração lenta depende diretamente dessa camada, que pode durar de alguns dias até semanas para ser formada, a depender das características da água bruta, do meio filtrante e da operação (PROSAB, 1999).

De acordo com (CAWST, 2010), a camada de areia possui capacidade de reter de 30-70% dos patógenos e, com a presença da camada biológica, essa remoção chega a 99%. As competições microbianas como a predação e absorção consomem os microrganismos causadores de doenças e exercem uma excelente função na eficácia da tecnologia.

No entanto, segundo Carvalho e Sabogal Paz (2013), o amadurecimento da camada biológica pode demorar até 30 dias, a depender das características do efluente, do meio filtrante e do tipo de operação do FLD. CAWST (2010) considera o período de amadurecimento como o tempo necessário para o efluente do filtro lento atinja o limite da turbidez definido no padrão de potabilidade da localidade considerada.

Como o padrão de potabilidade de alguns países é de 5 uT, CAWST (2010) recomenda valores máximos de turbidez de entrada de até 50 uT. No Brasil, o padrão estabelecido pelo Ministério da Saúde é de 1 uT e, por isso, Di Bernardo e Sabogal Paz (2008) recomendam valores de turbidez de entrada 100% menor ou igual a 10 uT e 95% do tempo menor ou igual a 5 uT.

A filtração lenta é um sistema de tratamento simples, quando comparado aos outros tipos de tecnologia de tratamento de água, pois simula processos naturais de depuração da água, em sua percolação pelo subsolo, onde são eliminados os microrganismos, partículas, substâncias químicas e componentes biológicos (PROSAB, 1999).

É uma tecnologia de custo baixo, de operação e manutenção pouco especializadas, compatível com a realidade das comunidades rurais isoladas brasileiras. Essas características

possuem potencial para contribuir com a universalização do saneamento, pois ao alcançar as comunidades isoladas, elas levam o direito sustentável a água tratada, preconizada na ODS 6 da ONU, que é de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos, principalmente para grupos excluídos desse direito de cidadania.

O filtro lento possui um ótimo desempenho na remoção de bactérias, por isso, detém um grande potencial de melhorar a saúde pública, principalmente em situações onde a desinfecção não é eficiente. Apesar desses benefícios, é sempre necessário realizar estudos adequados, com o uso da engenharia para verificar se a tecnologia de tratamento atende as especificidades de cada situação.

### **5.1 Filtro Lento Domiciliar**

O filtro lento em escala domiciliar (FLD) ou biofiltro de areia foi desenvolvido por David Manz na década de 1990. O objetivo do autor era criar um filtro eficiente, barato e em pequena escala para atender as comunidades carentes de países em desenvolvimento. O FLD se baseia na concepção do filtro lento convencional com algumas melhorias. As adaptações de Manz (2004) permitiram o uso do filtro conforme a utilização dos consumidores (fluxo intermitente) e, também, permitiu que a limpeza fosse feita sem a remoção e substituição da areia do filtro.

A Figura 5 apresenta os componentes tradicionais do FLD e a Tabela 1 apresenta suas respectivas funções. Esse modelo, foi divulgado por CAWST no manual “*Biosand Filter Construction Manual*” desenvolvido em 2012.

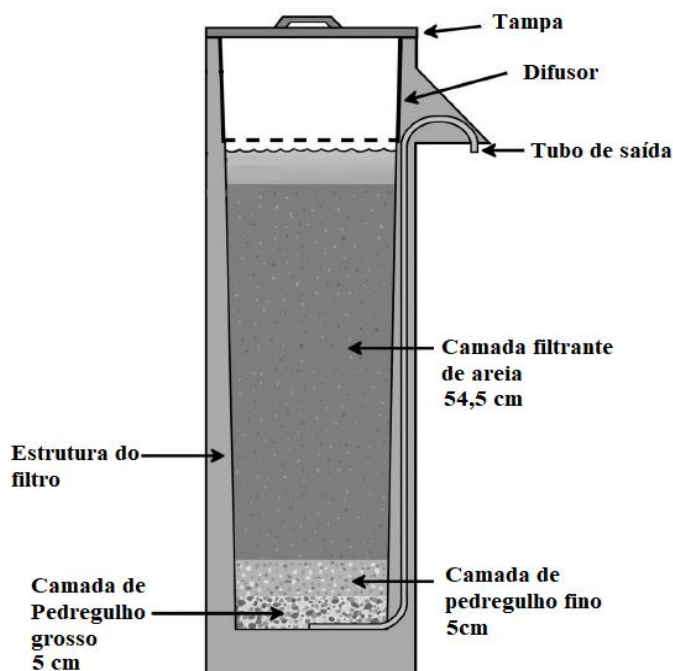


Figura 5: Componentes do FLD (Adaptado de CAWST, 2012)

Como mostrado na Figura 5, o FLD possui uma estrutura simples, leve, e de pequena escala, que permite que seja transportado com facilidade para as comunidades a serem beneficiadas. Essas características permitem que essa tecnologia seja implementada em comunidades com escassez de recursos e mão de obra especializada.

**Tabela 1** - Funções dos componentes do FLD (Adaptado de CAWST, 2012).

Componente	Função
Tampa	Impede a contaminação e a entrada de pragas
Difusor	Impede o distúrbio do biofilme e mantém a camada de área estável
Tubo de saída	Conduz a água da base para o exterior do filtro
Camada filtrante de areia	Remove patógenos e sólidos suspensos
Camada de Pedregulho fino	Serve de sustentação e impede a saída da areia
Camada de Pedregulho grosso	Auxilia o escoamento da água para o tubo de saída
Estrutura do filtro	Armazena as camadas de areia e de pedregulhos

O meio filtrante é constituído de areia muito fina. Essa granulometria provoca a retenção de sólidos suspensos e microrganismos na superfície da camada filtrante, que contribuem para a formação da camada biológica. A Tabela 2, mostra as recomendações de granulometria de PROSAB (1999) para filtros lentos convencionais e de CAWST (2012) para filtros lentos domiciliares.

**Tabela 2** - Granulometrias recomendadas para a filtração lenta convencional e domiciliar (PROSAB, 1999 e CAWST, 2012).

	<b>Tamanho efetivo (<math>D_{10}</math>)</b>	<b>Coefficiente de desuniformidade (CD)</b>
<b>Filtro lento convencional</b>	entre 0,20 e 0,25 mm	entre 2 e 5
<b>Filtro lento domiciliar</b>	menor que 0,70 mm	entre 1,5 a 2,5

O tamanho efetivo ( $D_{10}$ ) corresponde ao tamanho equivalente a passagem de apenas 10% do peso do material através da peneira do referido tamanho e o coeficiente de desuniformidade é definido pela razão entre o diâmetro que 60% do material passa no peneiramento e o diâmetro efetivo. Quanto menor o valor de CD, mais profunda resulta a infiltração das impurezas no meio filtrante e mais longa se torna a duração da carreira de filtração.

As modificações propostas por CAWST (2010) provocam uma menor penetração das impurezas no meio filtrante e, por consequência, ocorre o aumento da carreira de filtração.

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), com o passar do tempo, as partículas se acumulam no topo do material filtrante e começam a reduzir a taxa de filtração. Quando é utilizada água com valores altos de turbidez, o processo de colmatação da areia é acelerado e faz com que a duração da carreira de filtração seja ainda menor. Quando a vazão de água afluyente estiver abaixo da demanda requerida, a limpeza do filtro deve ser realizada.

Na operação de limpeza dos filtros lentos convencionais, primeiro ocorre a drenagem da água no meio, em seguida são raspados e removidos de 1 a 3 cm da superfície da camada de areia, após esses procedimentos a operação é retomada (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008). No entanto, com a raspagem do topo da camada filtrante e consequente remoção de grande parte do *Schmutzdecke*, ocorre significativa redução na capacidade de remoção das bactérias. O filtro lento passa novamente pelo período de amadurecimento para produzir água no padrão de potabilidade.

Manz (2004) adaptou o FLD para que a limpeza fosse *in situ*. A operação de limpeza consiste no topo da areia para que os materiais que estejam bloqueando o fluxo sejam soltos e retirados. Segundo o mesmo, essa atividade não interfere na capacidade de remoção dos microrganismos e permite recuperar a taxa de filtração depois da limpeza. Este procedimento é mais apropriado para o tratamento de água com alto risco microbiológico.

### 5.1.1 Modo de Operação do Filtro Lento Domiciliar

Segundo CAWST (2010), o filtro lento pode ser dividido em cinco zonas com diferentes funções. A Figura 6 indica onde estão localizadas as zonas e a Tabela 3 descreve suas funções.

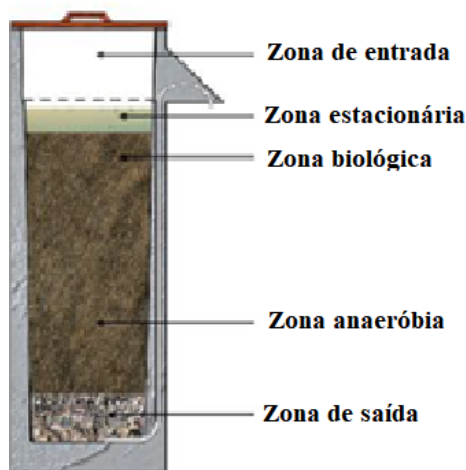


Figura 6: Zonas dos filtros lentos em escala domiciliar (Fonte: Adaptado de CAWST, 2010)

**Tabela 3** - Funções das zonas do filtro lento domiciliar (CAWST, 2010)

ZONAS	FUNÇÕES
Zona de entrada	Entrada de água no filtro.
Zona estacionária	Mantém a areia molhada, enquanto a transferência de oxigênio para a camada biológica.
Zona biológica	Se desenvolve no topo (5-10 cm) da camada filtrante. Nesta zona há a formação da camada biológica ( <i>Schmutzdecke</i> ) no topo (1-2 cm) da superfície da areia.
Zona anaeróbia	Não contém praticamente nenhum microrganismo aeróbio devido a falta de oxigênio e nutrientes.
Zona de saída	Serve de sustentação para a areia e protege o tubo de saída de entupimento.

O FLD pode ser operado em modo intermitente ou contínuo. A operação em fluxo intermitente é conseguida através do posicionamento da tubulação de saída em cota superior a zona estacionária, com o fim de manter o topo da camada filtrante sempre submersa. Essa modificação permite que o *Schmutzdecke* continue recebendo oxigênio, mesmo quando o fluxo é interrompido.

No filtro lento de fluxo contínuo, como não há essa adaptação, caso o fluxo seja interrompido, a eficiência da camada biológica é reduzida e, por consequência, o risco microbiológico da água filtrada é aumentado.

O modelo de operação em fluxo intermitente é apropriado para comunidades onde a disponibilidade de água não é contínua. No entanto, a variação constante da carga hidráulica pode afetar a composição da camada biológica.

Caso seja possível, é preferível utilizar o FLD em fluxo contínuo, onde a alimentação por gravidade ou por bombas conferem carga hidráulica constante. No FLD em fluxo contínuo, apesar de não ocorrer grandes variações na carga hidráulica acima do meio filtrante, a operação é mais complexa, o que pode tornar a tecnologia inviável para comunidades que não possuem os recursos necessários.

## 5.2 Parâmetros Limites Para o Uso da Filtração Lenta

Para que alternativas tecnológicas de tratamento de água sejam utilizadas com eficiência, é necessário considerar a relação existente entre o meio ambiente (qualidade da água de um manancial) e as tecnologias de tratamento existentes (PROSAB, 1999). A Figura 7 mostra essa relação.

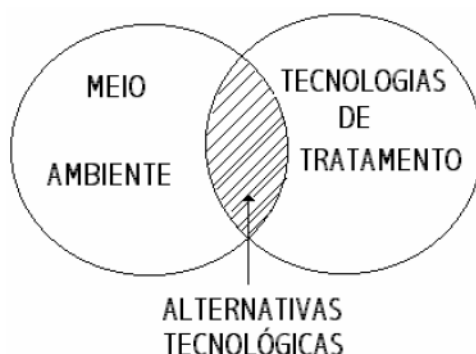


Figura 7: Esquema indicativo entre meio ambiente e alternativas de tratamento (PROSAB, 1999).

De acordo com Di Bernardo & Sabogal Paz (2008), a filtração lenta pode ser considerada na pré-seleção da tecnologia de tratamento, quando a água bruta possui os parâmetros dentro dos limites da Tabela 4.

**Tabela 4** -Parâmetros recomendados para o uso da filtração lenta (Di Bernardo e Dantas, 2005).

Parâmetro	Valor Máximo em 90% das amostras	Valor Máximo em 95% das amostras	Valor Máximo em 100% das amostras
Turbidez	5 uT	10 uT	15 uT
Cor verdadeira	-	5 uH	10 uH
Coliformes Totais	100 NMP/100 mL	250 NMP/100 mL	1000 NMP/100 mL
Escherichia Coli	100 NMP/100 mL	250 NMP/100 mL	500 NMP/100 mL
Ferro Total	0,5 mg/L	1,0 mg/L	0,5 mg/L
Algas em Geral	100 UPA/m	100 UPA/m	100 UPA/m

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor Máximo em 90% das amostras</b>	<b>Valor Máximo em 95% das amostras</b>	<b>Valor Máximo em 100% das amostras</b>
Manganês Total	0,2 mg/L	0,5 mg/L	0,7 mg/L
Sólidos suspensos Totais	5 mg/L	10 mg/L	25 mg/L
Cianobactérias	100 UPA/ml	250 UPA/ml	500 UPA/ml
Cianotoxinas	1 µg/L	1,5 µg/L	3 µg/L

No entanto, mesmo com dados corretos a respeito da qualidade da água, não se pode selecionar uma tecnologia de tratamento com base apenas nos mesmos. De acordo com Di Bernardo *et al.* (2017), quando se adotam parâmetros de literatura ou de vivência própria, muitas vezes, ocorrem erros graves de projeto, que comprometem a operação das estações de tratamento de água, principalmente nos casos em que produtos químicos são utilizados. Por isso, é importante realizar análises de laboratório, inspeções sanitárias na bacia hidrográfica onde se localiza o manancial, testes de bancada (*jar tests*) ou ensaios em estações piloto de escoamento contínuo, para depois poder considerar ou descartar a utilização de um tipo de tecnologia (PROSAB,1999).



## 6 ESTUDO DE CASO

Os projetos e estudos propostos foram destinados às características e particularidades do Acampamento do MST Edson Nogueira. As informações iniciais deste trabalho, bem como a motivação para sua execução, surgiram a partir de visitas ao local, dentro do projeto de extensão Axé Saúde, coordenado pela Professora Caroline Guilherme, com a participação da Professora Beatriz Rohden Becker, ambas da UFRJ/Macaé. Para a construção do filtro piloto, a disciplina de Aprendizagem por Projeto 2 foi essencial, na medida em que envolveu alguns alunos participantes em estudar o filtro, bem como em instalá-lo no local. Essa disciplina pertence à grade de eletivas dos cursos de Engenharia da UFRJ/Macaé, sob a coordenação dos Professores Mauricio Aguilar Nepomuceno de Oliveira, Camila Laricchia e Rute Costa.

### 6.1 Caracterização do Local de Estudo

O Acampamento Edson Nogueira pertence ao Movimento Sem Terra (MST) e está localizado na rodovia Christino José da Silva Júnior (RJ 168), no quilômetro 19, no município de Macaé, estado do Rio de Janeiro (Figura 8). O acampamento foi instalado em 2018, possui atualmente uma população flutuante de 80 famílias e ainda não conta com infraestrutura básica, como saneamento, luz elétrica e moradias adequadas.

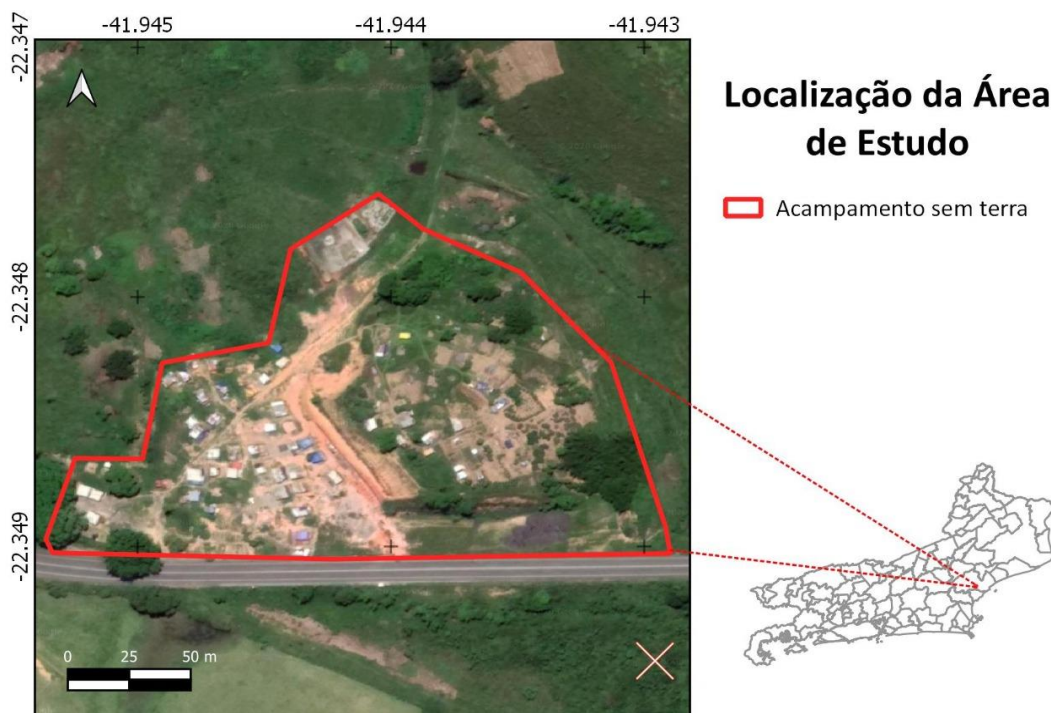


Figura 8: Localização do acampamento Edson Nogueira (Fonte: autora).

Atualmente, o local sedia a Unidade Pedagógica de Agroecologia, uma escola de educação popular voltada à agroecologia e sustentabilidade.

A água utilizada pelos acampados é retirada de poços tipo cacimba feitos no local ou de uma adutora de água não tratada que passa pela localidade. Tal adutora faz parte do primeiro sistema de abastecimento de Macaé. A captação desse sistema é realizada no Córrego do Atalaia, localizada dentro do Parque Natural Municipal Fazenda Atalaia, uma Unidade de Conservação de Proteção Integral localizada em Macaé/RJ (Figura 9).



Figura 9: Captação de água no Córrego do Atalaia (Dunga e suas lentes, 2019).

Este sistema, cujo estudo para a implantação foi iniciado em 1812, começou a ser criado com a aquisição da Fazenda Atalaia pelo Poder Público municipal de Macaé, com a finalidade de melhorar a situação da saúde pública macaense, a qual enfrentava, no século XIX, surtos de febre amarela, varíola e febre palustre, associados com a má qualidade da água utilizada pela população. Em 1896, iniciou-se a construção da adutora, porém o sistema só foi inaugurado em 1914. Atualmente, o rio Macaé é o principal manancial utilizado no abastecimento público em Macaé. No entanto, nos últimos anos, o sistema do rio Atalaia ainda abastecia casas do bairro Aroeira e algumas residências rurais isoladas (O DEBATE, 2010).

Segundo funcionários do Parque Natural Municipal do Atalaia, a CEDAE, que era responsável pelo sistema (Figura 10), interrompeu os serviços de desinfecção e desobstrução do coletor de água (Figura 11) na captação do Córrego do Atalaia em agosto de 2019. Foi então que os acampados decidiram que eles próprios iriam fazer a desobstrução do ponto de captação, a partir da entrada autorizada e registrada no Parque Atalaia, pois este possui acesso ao ponto de captação.



Figura 10: Placa de identificação da CEDAE na captação no Córrego do Atalaia (Dunga e suas lentes, 2019).

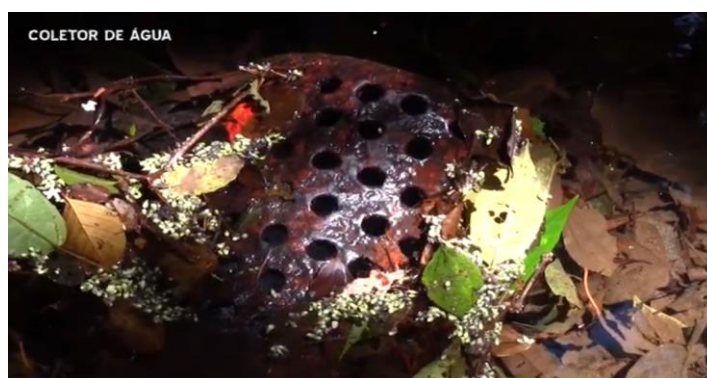


Figura 11: Coletor de água da captação do Córrego do Atalaia (Dunga e suas lentes, 2019)

Na adutora foram feitas derivações para o consumo dos acampados (principalmente cozinha e banheiros de uso comum) e para a irrigação de cultivos (Figura 12). Outras comunidades localizadas próximo à adutora também fazem o uso da água desse sistema.



Figura 12: Trecho da adutora do sistema de abastecimento do córrego do Atalaia que atravessa o acampamento Edson Nogueira (Autora).

A captação do Córrego do Atalaia dista aproximadamente oito quilômetros do Acampamento (Figura 13). A adutora não se encontra em bom estado de conservação, pois a

tubulação possui trechos incrustados e rachados, podendo ocorrer a contaminação da água aduzida, pela entrada de microrganismos advindos da criação de animais ou de substâncias químicas proveniente dos agrotóxicos utilizados na agricultura da região, por exemplo.

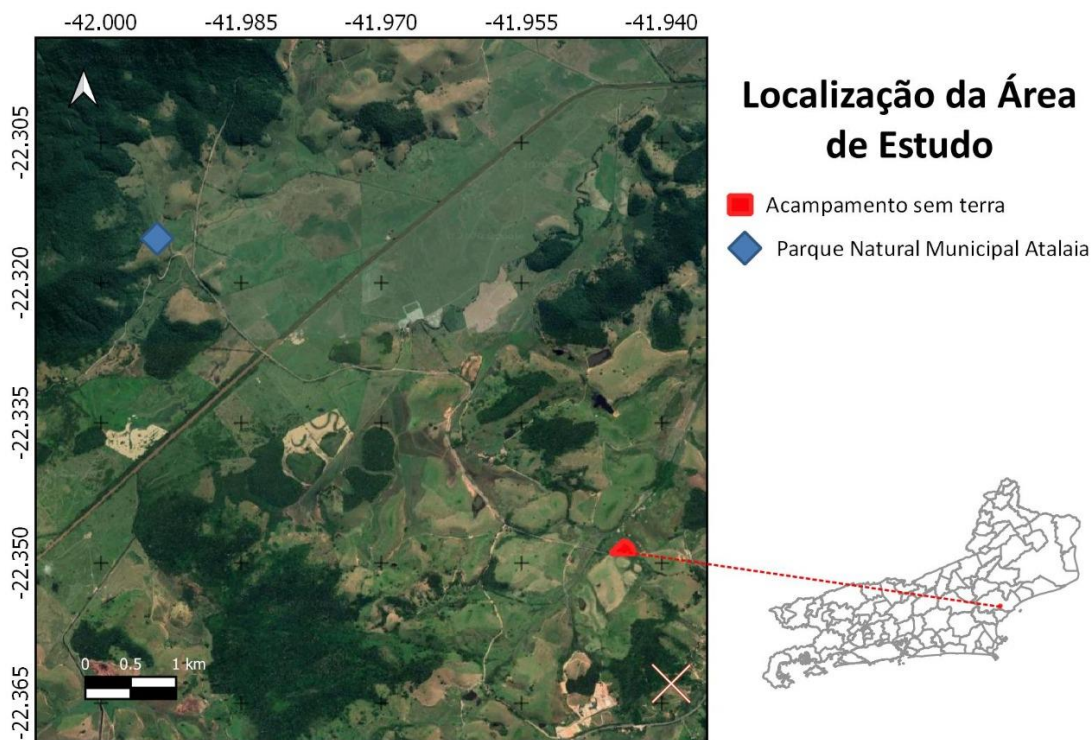


Figura 13: Localização do acampamento Edson Nogueira em relação ao Parque Atalaia (Fonte: Autora)

A partir das primeiras visitas da autora ao Acampamento, foram ouvidos relatos dos acampados de que algumas pessoas teriam adoecido após a ingestão da água do acampamento (proveniente da adutora). Com isso, foi levantada a hipótese de que a água consumida poderia estar contaminada e, por este motivo, decidiu-se realizar a coleta de amostras da água para serem encaminhadas à análise.

## 6.2 Caracterização da Água Bruta

Foram realizadas nas águas utilizadas no acampamento, análises para o parâmetro turbidez e também análises microbiológicas (*Coliformes Totais* e *Escherichia Coli*). Durante a visita, a acampada Luciana mostrou os pontos de água utilizados para os mais variados usos, desde lavagem de roupas, banho, até ingestão e preparo de alimentos. Os locais foram definidos como Adutora, Poço (barreiro e Cacimba) e Canal do Lagarto (Figura 14).



a) Adutora



b) Barreiro



c) Cacimba



d) Canal do lagarto (Acampado auxiliando nas análises).

Figura 14: Pontos de água do Acampamento Edson Nogueira (Fonte: Autora).

As análises do parâmetro de turbidez foram realizadas através do equipamento da marca *Hanna Instruments* e modelo HI 98703 (Figura 15), o qual é um medidor portátil de turbidez de alta precisão. Esse modelo atende os requerimentos do Método EPA 180.1. O aparelho mede a turbidez em unidades nefelométricas de Turbidez (NTU) e é equivalente às unidades de turbidez (uT).



Figura 15: Turbidímetro utilizado na análise de turbidez do filtro piloto do acampamento (Autora).

As análises microbiológicas para a detecção de Coliformes Totais e *Escherichia coli* foram realizadas com KIT COMPLETO COLITEST, desenvolvido para a análise simultânea dos dois parâmetros, através da cultura, validado frente a APHA/AWWA/WEF e descrito no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Tais análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade (NUPEM) da UFRJ/ Macaé

Na presença de coliformes totais e de *E. coli*, o pH do meio se altera, devido à fermentação da lactose, isso faz com que o meio de cultura COLITEST mude sua cor inicial de púrpura para amarelo. Além disso, o produto contém em sua formulação MUG que, quando hidrolisado libera um fluoróforo, apresentando fluorescência visível na luz ultravioleta, quando positivo para *E. Coli* (Figura 16).



Figura 16: Amostras com resultado positivo para Coliformes Totais e *E. Coli* (Fonte: Autora).

Conforme apresentado na Tabela 5, as análises microbiológicas foram feitas apenas na água da adutora e de um dos poços, pois nos informaram que nesses locais a água era utilizada para fins potáveis. Os resultados indicaram baixos valores de turbidez para todos os pontos analisados, à exceção de um poço (barreiro). Nos dois pontos onde foram feitas as análises

microbiológicas, foi encontrada a presença de *Coliformes Totais* e *Escherichia Coli* (Tabela 5), o que indica que a água consumida pelos acampados possui um alto risco microbiológico.

**Tabela 5** – Dados de qualidade das águas utilizadas no acampamento.

<b>Ponte de Coleta</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Oxigênio Dissolvido (mg/L)</b>	<b>Coliformes Totais</b>	<b>Escherichia Coli</b>
<b>Adutora</b>	0,87	-	Presente	Presente
<b>Poço (barreiro)</b>	36,00	1,00	-	-
<b>Poço (Cacimba)</b>	5,60	1,37	Presente	Presente
<b>Canal do Lagarto</b>	4,30	2,03	-	-

Os resultados das análises indicaram a pré-seleção da filtração lenta como forma de tecnologia de tratamento de água no Acampamento Edson Nogueira, visto que o valor de turbidez é inferior ao estabelecido por Di Bernardo e Dantas (Tabela 4), somado ao fato consolidado na literatura de que a camada biológica do filtro lento de areia é eficiente na remoção dos microrganismos encontrados, quando operada de forma correta e após o período de amadurecimento do *Schmutzdecke*.

Apesar do valor de entrada de turbidez estar abaixo do limite especificado pelo padrão de potabilidade brasileiro, a filtração deve ser realizada conforme a exigência da mesma Portaria de que toda a água proveniente de manancial superficial deve ser submetida a filtração.

Por tais motivos, decidiu-se propor a construção de um filtro lento domiciliar piloto, para que fosse verificada a viabilidade desta tecnologia de tratamento para a água da adutora proveniente da captação do Córrego do Atalaia.

### **6.3 Construção da Unidade Piloto do Filtro Lento Domiciliar**

Antes da construção do filtro, em uma aula pública organizada pela Unidade Pedagógica de Agroecologia e lecionada pela professora Beatriz Rohden Becker com o auxílio da autora deste trabalho, foi exposto à comunidade do Acampamento, em linguagem acessível, o funcionamento e a importância do tratamento da água para consumo humano, onde os questionamentos foram respondidos e as sugestões da comunidade foram consideradas no projeto.

O filtro lento domiciliar piloto foi construído com a colaboração dos próprios acampados (Figura 17), a partir do filtro desenvolvido por CAWST (2012) e, conforme já

mencionado, a construção também contou com a ajuda das alunas de engenharia da disciplina Aprendizagem por Projeto 2, da UFRJ/Macaé.





Figura 17: Acampados e estudantes na montagem do sistema hidráulico (Fonte: Autora).

### 6.3.1 Materiais Utilizados

A Tabela 6 mostra os materiais utilizados na construção do filtro lento domiciliar piloto.

**Tabela 6** - Materiais utilizados na construção da unidade piloto do filtro lento domiciliar no acampamento Edson Nogueira.

Sigla	Produto	Imagem	Quantidade
FL-01 FL-02	Adaptador Flange para caixa d'água ¾" roscável		2
FL-03	Adaptador Flange para caixa d'água 1" roscável		1



<b>Sigla</b>	<b>Produto</b>	<b>Imagem</b>	<b>Quantidade</b>
NI-01 NI-02 NI-03	Nipel com rosca ¾"		3
BU-01 BU-02	Bucha de redução com rosca 1" x ¾"		2
BO-01 BO-02	Torneira com boia ¾"		2
AM-01 AM-02 AM-03	Adaptador interno para Mangueira ¾"		3
FL-04	Flange com registro 1"		1
RD-01	Rede de proteção		1
MA-01	Mangueira ¾"		-
FI-01	Bombona de 200 litros		1
RE-01	Reservatório		1
-	Areia fina		75 Kg
-	Brita		56,54 dm <sup>3</sup> (2 baldes)

Os preços não foram inseridos na Tabela 6, visto que alguns materiais já estavam disponíveis no Acampamento e, portanto, não foi necessária a compra. Do material que necessitou ser adquirido, o custo total foi de R\$ 127,96. Porém, é importante destacar que esse valor tende a ser maior visto que, somente o reservatório para armazenamento da água filtrada possui custos mais elevados do que o montante gasto. As ferramentas utilizadas na construção do filtro foram: parafusadeira à bateria (no Acampamento não há energia elétrica), broca chata de 1 polegada, mangueira de nível, veda rosca, trena, haste para marcar espessura das camadas.

### 6.3.2 Montagem do Sistema Hidráulico

Os tanques, válvulas e acessórios utilizados na montagem do sistema hidráulico foram dispostos e conectados conforme mostrado na Figura 18. Apesar do fluxo de entrada de água bruta no filtro ser contínuo, optou-se por posicionar o nível máximo de água do reservatório cerca de 5 cm acima do topo da areia do filtro, garantindo um nível d'água mínimo acima do topo da camada filtrante e assim manter as condições de vida da camada biológica, através da transferência de oxigênio da água para o *Schmutzdecke*, essencial para a eficiência do filtro lento. Para isso, foi aproveitado o desnível natural do terreno, conforme a Figura 18. Esse procedimento pôde ser realizado com o auxílio de uma mangueira de nível.

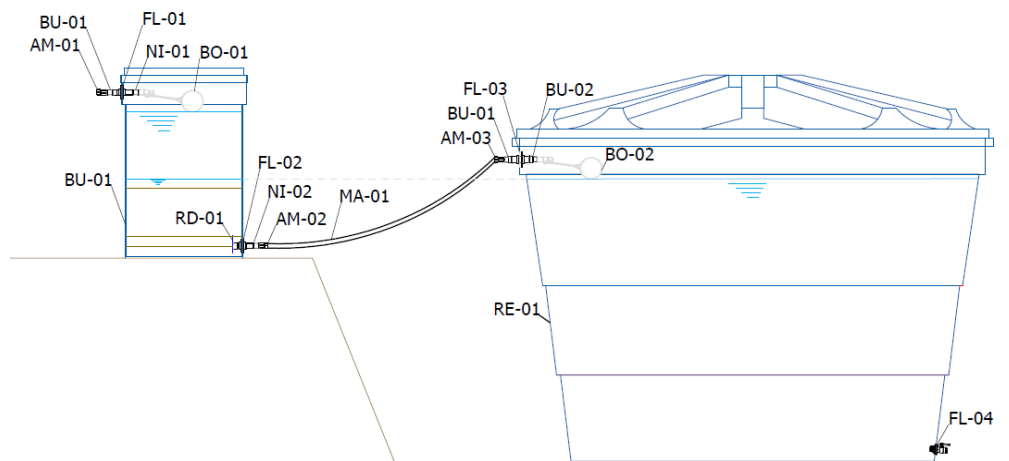


Figura 18: Tanques e acessórios do sistema de filtração lenta do Acampamento do MST Edson Nogueira (Fonte: autora).

### 6.3.3 Disposição das Camadas do Filtro Lento Piloto Domiciliar

Após a montagem do sistema hidráulico, foi realizada a disposição das camadas suporte e da camada filtrante do filtro piloto dentro da bombona, com base no filtro lento domiciliar desenvolvido por CAWST (2012).

A primeira camada disposta foi a de pedregulho grosso, responsável por auxiliar o escoamento da água filtrada para o tubo de saída, concebida com pedregulhos de grandes dimensões, os quais foram retirados do leito do Canal do Lagarto, que se encontra nas proximidades do Acampamento. Para compor o filtro, os pedregulhos foram lavados e, em seguida, dispostos nos primeiros 5 cm de altura, contados a partir da base da bombona.

A segunda camada disposta é a de pedregulho fino, que auxilia na sustentação do meio filtrante e impede a saída da areia (“lavagem do material filtrante”). O pedregulho fino foi lavado e, em seguida, disposto com uma espessura de 5cm, acima da primeira camada.

A terceira e última camada, constituída de areia fina, é responsável pela remoção de patógenos e sólidos suspensos. A areia fina foi lavada e disposta no filtro, com uma espessura de camada de 25 cm. Por fim, o filtro foi colocado em operação através da ligação da derivação da adutora ao flange de entrada (AM-01).

A Figura 19, mostra os passos da disposição das camadas do filtro.



Figura 19: (A) Início da disposição do pedregulho grosso; (B) pedregulho grosso cobrindo tubo de saída; (C) disposição do pedregulho fino; (D) disposição da camada de areia (Fonte: Autora).

Nos primeiros 5 meses de operação, não foi realizada a limpeza do filtro e, por isso, observou-se a formação de uma camada biológica (Figura 20), que reteve parte das impurezas advindas da água bruta.



Figura 20: Camada biológica formada, após 5 meses, na primeira disposição das camadas do filtro (Fonte: Autora).

No entanto, observou-se que a granulometria da areia não estava de acordo com a indicada pelo fornecedor pois, apesar do tempo elevado de operação, o filtro não apresentou uma perda de carga significativa, comprometendo a eficiência da retenção de impurezas no filtro piloto. Decidiu-se, então, realizar a troca do meio filtrante e controlar a granulometria da areia fina utilizada pelo processo de peneiramento.

#### *Peneiramento e Lavagem da Areia Fina*

O processo de peneiramento foi realizado em uma peneira granulométrica, a qual é empregada na determinação das partículas sólidas. Segundo CAWST (2012), a granulometria recomendada para a filtração lenta domiciliar deve ser menor que 0,7mm. Por este motivo, a peneira utilizada possuía abertura de 0,6 mm e foi disponibilizada pelo Laboratório de Engenharia Civil da UFRJ/Macaé. Após a secagem da areia, esta foi submetida ao peneiramento. O material passante da peneira de 0,6 mm foi separado para posterior lavagem e o material retido pela peneira foi descartado.

A lavagem do material filtrante foi realizada conforme o manual de CAWST (2012), onde colocou-se a areia passante da peneira de 0,6mm em um balde e encheu-se com água até a metade (Figura 21). Após a lavagem, descartou-se a água, tomando os devidos cuidados para não descartar o material filtrante.

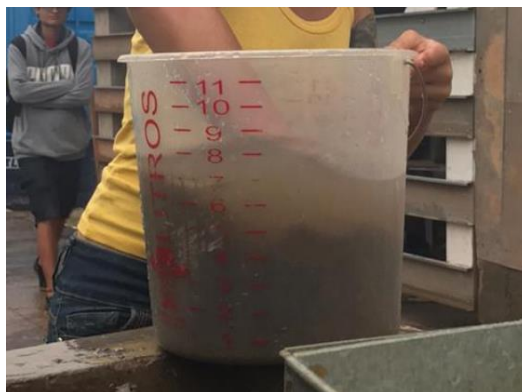


Figura 21 : Lavagem da areia fina (Foto da Autora).

CAWST (2012), recomenda que a areia não deve ser lavada até a água ficar totalmente transparente e indica que o momento de parar a lavagem pode ser encontrado através de um teste de jarros descrito na Figura 22.






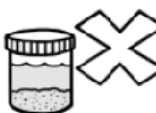

ETAPAS	RESULTADOS
 <p>1- Coloque um pouco de areia no fundo de uma jarra transparente</p>	 <p>Se não conseguir ver o topo da areia, a mesma está muito suja. Continue lavando a areia e faça outro teste de jarros após 1 ou 2 mais lavagens.</p>
 <p>2- Encha a jarra com água. Coloque a tampa.</p>	 <p>Se for capaz de ver o topo da areia, mas não claramente, o número de lavagens foi o suficiente. Lave o restante da areia o mesmo número de vezes.</p>
 <p>3- Agite o frasco</p>	 <p>Se for capaz de ver o topo da areia com muita facilidade, a areia foi lavada demais. Jogue a areia fora. Comece novamente e lave a areia nova menos vezes antes de fazer um teste de jarro.</p>
 <p>4- Pare de agitar a jarra. 5- Aguarde 4 segundos</p>	

Figura 22: Instruções para o teste de jarros, a ser feito em campo, para verificar a quantidade ideal de lavagens do material filtrante (Adaptado do Manual de Construção do Biofiltro de Areia de CAWST, 2012).

Após a adequação da granulometria da areia e a sua correta limpeza, o material foi novamente colocado no interior do filtro. A Figura 23 mostra o meio filtrante após a troca da areia de granulometria maior para a areia de granulometria controlada.



Figura 23: Recolocação da camada de areia fina disposta (Fonte: Autora).

Após a remontagem do FLD piloto, ele foi posto novamente em operação e, em apenas 30 dias, o início da formação da camada biológica foi observado (Figura 24). Neste momento, foram coletadas amostras da água bruta e da água filtrada, efluente ao filtro, para serem encaminhadas à análise.



Figura 24: Início da formação da camada biológica, após 30 dias de operação, na segunda disposição das camadas do filtro (Fonte: Autora).

#### **6.4 Avaliação da Qualidade da Água**

A avaliação da qualidade da água afluyente e efluente ao FLD piloto construído foi realizada com base nos dados de turbidez e presença ou ausência de Coliformes Totais e *E. coli*. As amostras foram coletadas na entrada e na saída do FLD piloto, colocadas em um frasco próprio para a realização das análises de turbidez e para a detecção da presença de microrganismos. As análises foram realizadas utilizando os equipamentos e testes descritos no tópico 5.3.

A Tabela 7 apresenta os resultados das análises realizadas nas amostras do dia 8 de janeiro de 2020, 30 dias após a troca do material meio filtrante para a areia de granulometria controlada.

**Tabela 7** - Resultados das análises da água bruta e da água filtrada pelo filtro piloto de areia.

	Turbidez (NTU)	Coliformes Totais	E. Coli
ÁGUA BRUTA	0,95	Presente	Presente
ÁGUA FILTRADA	8,75	Presente	Presente

Conforme mostrado na (Tabela 7), os resultados da água filtrada se mostraram insatisfatórios. A turbidez de saída do filtro piloto foi maior que a turbidez de entrada, o que indica a ocorrência da perda do material filtrante e a não eficiência da camada suporte em reter a areia de granulometria fina.

Do mesmo modo, os resultados para presença de *Coliformes Totais* e *E.Coli* se mantiveram positivos após a filtração, os quais podem ter diversas causas como: o provável não atingimento do tempo necessário para o amadurecimento da camada biológica, a insuficiência da espessura da camada de areia fina, a necessidade de adequação da camada suporte, a falta de testes quantitativos para avaliar a redução da quantidade de bactérias, a necessidade de testes representativos da água bruta e tratada e a ausência da desinfecção.

## 6.5 Propostas de Melhoria

Nos tópicos 5.5.1 ao 5.5.4, estão descritas propostas de melhoria, a serem executadas no filtro lento domiciliar piloto construído, com objetivo de tornar a água tratada por este sistema adequada para o consumo humano.

### 6.5.1 Adequação da Espessura da Camada de Areia Fina e Realização de Análises Quantitativas da Remoção de Bactérias

Segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008), a atividade biológica (Figura 25) pode abranger até 40 cm do meio filtrante, do topo para o fundo da unidade, a qual é constituída, fundamentalmente, por partícula inertes, matéria orgânica, e uma grande variedade de organismos (bactérias, algas, protozoários, metazoários etc.), além de precipitados de ferro e manganês (quando esses metais se encontram em estado solúvel na água afluente).

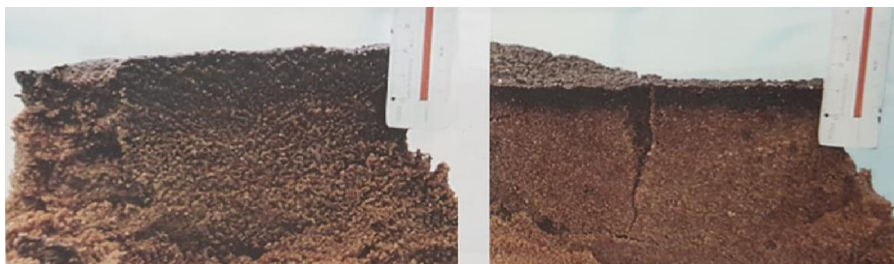


Figura 25: Fotos ilustrando a camada biológica de filtros lentos (Di Bernardo e Sabogal Paz, 2008).

Abaixo desta camada está a zona anaeróbia, onde praticamente não há microrganismos aeróbios, por falta de nutrientes e condições de vida. O filtro piloto construído neste estudo possui apenas 25 cm de espessura de meio filtrante, o que pode vir a permitir a atividade aeróbia mesmo ao fim da filtração. Recomenda-se aumentar a espessura da camada para 54,5cm, segundo (CAWST, 2012).

Todavia, o tempo para a formação da camada biológica na análise estudada foi de apenas 30 dias e segundo Sanchez (1996), o período de amadurecimento do *Schmutzdecke* pode levar dias ou até semanas, a depender da qualidade do efluente, da taxa de filtração, das características do meio filtrante e da forma de limpeza do filtro.

É necessário realizar análises periódicas de turbidez e testes quantitativos da presença de bactérias para avaliar a eficiência da remoção de sólidos suspensos e patógenos no FLD piloto, ao longo do tempo de amadurecimento do *Schmutzdecke*. A Tabela 8 mostra dados da remoção de Coliformes Totais em diferentes ETAs da Colômbia (GALVIS *et al.*,1999), que utilizavam a filtração lenta como forma de tecnologia.

Tabela 8 - Coliformes Totais em diferentes ETAs da Colômbia (Galvis *et al.* 1999).

INSTALAÇÃO	COLIFORMES TOTAIS (UFC/100 ml)	
	Afluente ao Filtro Lento	Efluente ao filtro Lento
Ceylan	4 a 382	0 a 24
La Marina	0 a 1250	0 a 29
Canãs Gordas	14 a 3670	0 a 11
El Retiro	8 a 11800	0 a 85
Colombo	24 a 48400	0 a 17
Shaloom	26 a 1020	0 a 17
La Rivera	4 a 491	0 a 2



Como mostrado na Tabela 8, a filtração lenta não eliminou 100% das vezes os Coliformes Totais nas estações de tratamento estudadas, porém os reduziu de forma eficiente. Por isso, apenas com testes microbiológicos quantitativos, que se pode avaliar a eficácia do FLD piloto construído neste estudo. A inativação completa dos microrganismos restantes é conseguida através da desinfecção, etapa obrigatória de tratamento para qualquer água destinada ao consumo humano.

### **6.5.2 Adequação da Camada Suporte**

Devido ao resultado da turbidez na saída do FLD piloto ser maior do que o resultado obtido na entrada, fica evidente o carreamento do material filtrante. Esse problema pode ser resolvido com o acréscimo de uma camada suporte extra entre o pedregulho fino e a camada de areia fina. É importante que essa nova camada seja composta de brita de menor diâmetro do que o utilizado na camada de pedregulho fino para que ocorra uma melhora da sustentação meio filtrante. Sugere-se que a espessura dessa nova camada possua 5 cm.

### **6.5.3 Desinfecção**

A desinfecção é um processo que tem por objetivo a inativação, por meio do uso de um agente químico ou não químico, de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, protozoários, vírus, microalgas e cianobactérias. Considera-se que a eficiência da desinfecção seja resultante da oxidação ou ruptura da parede celular, com consequente desintegração das células, e da difusão de um agente no interior da célula, o qual interfere na sua atividade. Dentre os agentes químicos utilizados da desinfecção em geral, há os oxidantes cloro, bromo, iodo, dióxido de cloro, ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ácido peracético e ferrato de potássio, e os íons metálicos prata e cobre, enquanto que, dentre os agentes físicos, destacam-se o calor e a radiação ultravioleta (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Para serem usados no tratamento de água, os desinfetantes devem apresentar as seguintes características: destruir, em tempo razoável, os organismos patogênicos na quantidade em que se apresentam e nas condições das águas; não ser tóxico ao ser humano e animais domésticos, e, nas dosagens usuais, não causar odor e sabor nas águas; ser disponível a custo razoável e oferecer condições seguras nos quesitos transporte, armazenamento, manuseio e aplicação na água; ter sua concentração na água medida de forma rápida, através de métodos simples e confiáveis; produzir residuais persistentes na água, assegurando, desse

modo, a qualidade da água contra eventuais contaminações nas diferentes partes do sistema (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

O principal desinfetante utilizado nas ETAs é o cloro, no entanto, nas últimas décadas, tem sido crescente o interesse pelo uso de desinfetantes alternativos, decorrente da possibilidade de formação de subprodutos da desinfecção, tais como trihalometanos, ácidos haloacéticos e compostos halogenados, que podem causar riscos à saúde (DI BERNARDO *et al.*, 2017).

Para evitar a formação desses compostos em níveis inaceitáveis, é importante que o tratamento de água elimine a maior parte da matéria orgânica natural (substâncias húmicas) e dos compostos inorgânicos, antes da desinfecção ser realizada.

A portaria de consolidação nº5 do ministério da saúde determina que toda água destinada a consumo humano deve ser desinfetada e obriga a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre, e máximo de 5 mg/l.

Diversos equipamentos são utilizados no processo de cloração, dentre eles, destacam-se as bombas dosadoras elétricas de diafragmas e de pistão, hidrojatores a vácuo, dosadores de nível constante, clorador de pastilha, geradores de hipoclorito, sistemas automatizados e etc. (FUNASA, 2014). Para o Acampamento Edson Nogueira, recomenda-se o uso do clorador de pastilha, com manual de sua montagem e uso publicado pela Embrapa em 2014, de nome “Como montar e usar clorador de pastilhas em residências rurais” (

Figura 26).

Este clorador é formado por um conjunto de peças de cano e registros de PVC e tem o objetivo de forçar a passagem da água por um depósito de pastilhas de cloro. O conjunto deve ser instalado, em derivação, da tubulação que liga o filtro ao reservatório. Ao passar pelo clorador, a água entra em contato com as pastilhas de cloro e, em seguida, vai para o reservatório (EMBRAPA, 2014).

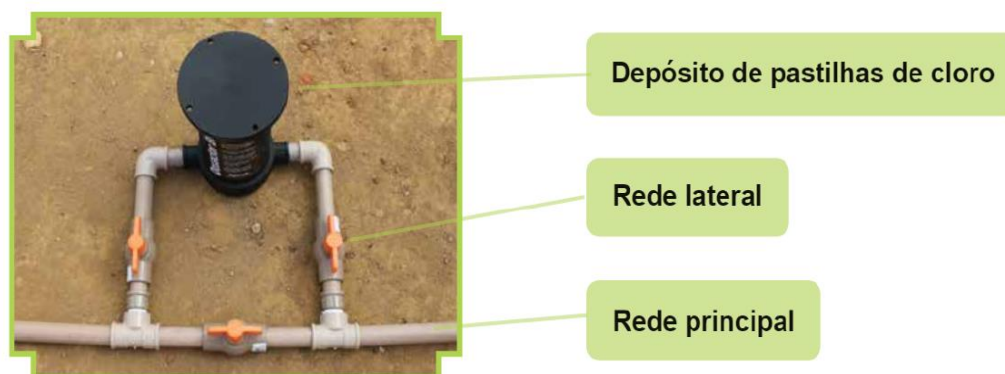


Figura 26: Clorador de pastilhas (EMBRAPA, 2014).

A quantidade de cloro na água deve ser medida por meio de um estojo de testes (Figura 27), bastante utilizado para medir cloro de piscina.



Figura 27: Kit para medir a quantidade de Cloro (EMBRAPA, 2014).

A Figura 28 mostra os procedimentos para a realização da medição da quantidade de cloro utilizando o estojo de testes.

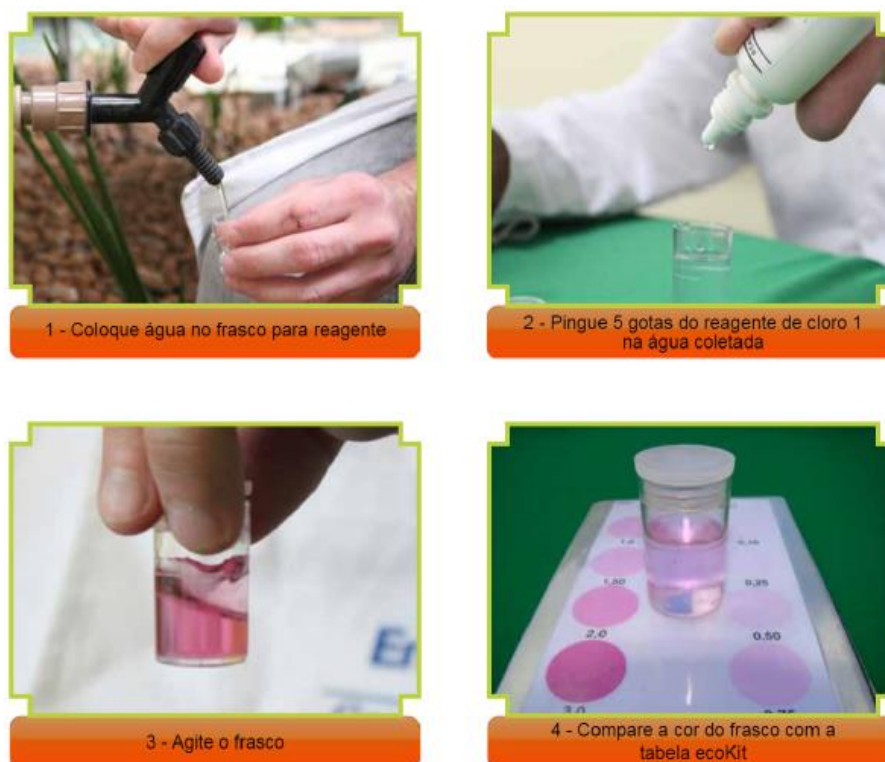


Figura 28: Como medir a quantidade de cloro na água (EMBRAPA, 2014).

Para estimar a quantidade de cloro é necessário comparar a cor da amostra com a escala de cor do Kit medidor de cloro conforme mencionado na Figura 29.

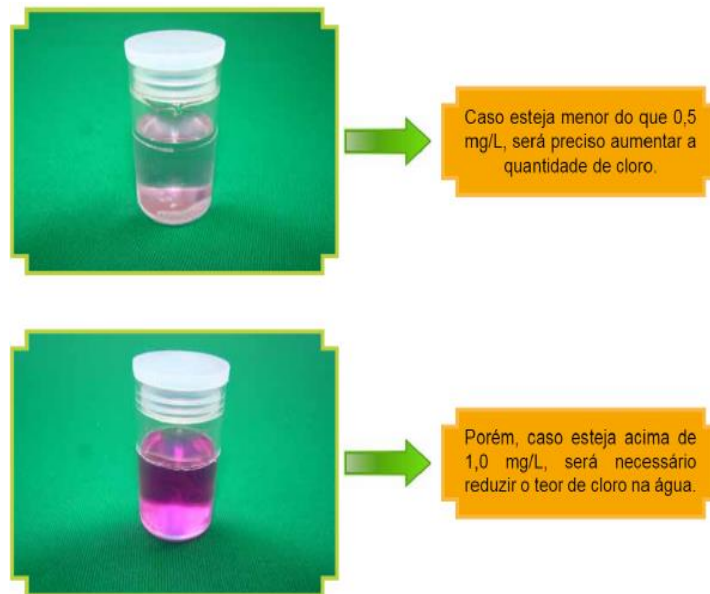


Figura 29: Comparação da cor da água com a escala de cor do kit (EMBRAPA, 2014).

Caso a escala de cor indique teor de cloro menor que 0,5 mg/L é necessário aumentar a abertura do registro lateral e caso a escala indique teor maior que 1,0 mg/L é necessário diminuir a abertura do registro lateral. Recomenda-se que a análise do teor de cloro seja realizada semanalmente (EMBRAPA, 2014).

#### 6.5.4 Realização de Análises Representativas

Para avaliar uma forma de tratamento de água existente é muito importante conhecer as características da água de estudo. As análises da qualidade da água, quando feitas regularmente, fornecem informações sobre a variação da qualidade de um manancial, o que permite a elaboração de estudos estatísticos com amostras de água de qualidade representativa de diferentes épocas do ano. A partir dos registros dessas análises, pode-se ficar um número de amostras diferentes da água, para os quais serão otimizados os parâmetros de operação (DI BERNARDO & SABOGAL PAZ, 2008).

Segundo o Anexo XX da portaria de consolidação nº5 do Ministério da Saúde, o número mínimo de amostras e frequência mínima de amostragem para o controle de solução alternativa coletiva, para fins de análises físicas, químicas e microbiológicas, com captação em manancial superficial, é de 1 amostra semanal para os parâmetros de cor, turbidez, pH, Coliformes Totais e *Escherichia Coli* e 1 amostra diária de cloro residual livre. No entanto, a mesma Portaria declara que para populações residentes em áreas indígenas, populações tradicionais, dentre outras, o plano de amostragem para o controle da qualidade da água deve ser elaborado de acordo com as diretrizes específicas aplicáveis a cada situação.

Recomenda-se que as análises sejam realizadas, na água bruta e na água tratada do Acampamento Edson Nogueira, conforme a frequência estabelecida pela Portaria. No entanto, caso não seja possível, sugere-se espaçar as frequências das análises em intervalos de duas semanas, devido ao caráter especial da localidade, em termos de acesso e estrutura.

## 7 CONCLUSÃO

O estudo de caso do FLD piloto de areia foi apresentado neste trabalho como proposta de tratamento de água para solucionar a falta de acesso à água potável no Acampamento do MST Edson Nogueira em Macaé/RJ. Tal situação corrobora com o atraso das regiões rurais em relação ao acesso a serviços de saneamento básico, principalmente água e esgoto e faz com que a aplicação da filtração lenta, quando as características da água dos respectivos mananciais permitem, seja uma possibilidade e uma oportunidade para colaborar com a busca da universalização dos serviços de abastecimento de água em comunidades isoladas.

A partir das análises realizadas na água bruta, pode-se constatar a baixa turbidez e a presença *Coliformes Totais* e *E. Coli* nas amostras de água da adutora e do poço tipo cacimba, que são utilizados para consumo humano no local do estudo. Os parâmetros avaliados permitiram a pré-seleção da filtração lenta como alternativa de tratamento de água. Dessa forma, para que fosse verificada a viabilidade desta tecnologia, optou-se pela construção de um FLD piloto.

Apesar de alguns materiais utilizados no filtro já se encontrarem disponíveis no local, sendo voluntariamente doados pelos acampados, o custo de FLD é considerado baixo e, portanto, acessível a comunidades isoladas.

A partir dos resultados das análises de amostras da água afluyente e efluente ao FLD, algumas limitações puderam ser observadas no estudo de caso apresentado, como por exemplo: o provável não atingimento do tempo necessário para o amadurecimento da camada biológica na análise realizada, a provável insuficiência da espessura da camada de areia fina disposta, a necessidade de adequação da camada suporte, a falta de testes quantitativos para avaliar a redução das bactérias, a necessidade de testes representativos da água bruta e tratada e a ausência da desinfecção. Tendo como base o estudo do FLD piloto presente neste trabalho, recomenda-se, para trabalhos futuros, a execução das propostas de melhoria apresentadas no tópico 5.5, para que assim seja possível certificar que a água tratada no Acampamento Edson Nogueira possua melhor qualidade.

De maneira geral, o estudo de caso abordado demonstrou que o filtro lento domiciliar é de fácil construção, não requer mão de obra especializada para a operação, tem dimensões reduzidas e possui baixo custo, o que permite sua aplicação nas comunidades rurais menos favorecidas. Conclui-se que o FLD piloto estudado foi válido, pois trouxe ao Acampamento conhecimento a respeito da qualidade da água utilizada e uma proposta viável de tratamento.

Nos casos em que os mananciais possuem águas com parâmetros de qualidade que permitem o uso desta tecnologia de tratamento, é possível alcançar uma melhora na qualidade de vida dos moradores das comunidades, pois com seu uso, ocorre a redução do risco associado ao consumo de água não tratada e a consequente redução dos casos de doenças causadas por veiculação hídrica.

## REFERÊNCIAS

ABREU, I. S. **Biopolítica e racismo ambiental no Brasil: a exclusão ambiental dos cidadãos**. Opinião Jurídica. V. 1, n. 24, p. 87-100, 2013.

APHA, **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília, 2007.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, 2017.

CALDAR, R. S. **O MST e a formação dos sem terra: o movimento social como princípio educativo**. Estudos Avançados, v. 15, n. 43, p. 207–224, 2001.

CAWST - CENTRE FOR AFFORDABLE WATER AND SANITATION TECHNOLOGY. **Biosand Filter Manual. Design, Construction, Intallation, Operation and Maintenance**. Canadá, 2010.

CAWST - CENTRE FOR AFFORDABLE WATER AND SANITATION TECHNOLOGY. **Biosand filter construction manual. Centre for Affordable Water and Sanitation Technology**, Canadá, 2012.

CARVALHO, T. K; SABOGAL PAZ, L. P. **Filtração Lenta em Areia como Alternativa Doméstica de Tratamento de Água - Eficiência do Método de Operação por Batelada**. Relatório Final. Pesquisa de Iniciação Científica. PIBIC. EESC/USP. São Carlos. 2013.



DI BERNARDO, L; DANTAS, A, D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Ed. RIMA. 2º Edição.

DI BERNARDO, LUIZ; VOLTAN, PAULO EDUARDO NOGUEIRA; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 3º edição. ed. São Carlos: LDIBE Editora, 2017.

DI BERNARDO, LUIZ / SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologia de Tratamento de Água**. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008.

EMBRAPA. **Como Montar e Usar o Clorador de Pastilhas em Residências Rurais**. Brasília, DF, 2014.

FERNANDES, B. M. **A territorialização do MST – Movimento dos Trabalhadores Sem-Terra- Brasil**. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/1495>>. Acesso em : 9 de fev. 2020.

FUNASA. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades**. Ministério da Saúde. Brasília, 2014.

GALVIS, C. G.; VISSCHER, J. T. **Filtración em Múltiples Etapas – Tecnología Alternativa para el Tratamiento de Agua**. Serie Documentos Técnicos. Internacional Water and Sanitation Centre – IRC. CINARA., 1999.

GELDEREICH, E. E. **Microbial Quality in Water Supply Distribution Systems**. Boca Raton, FLCRC Press Inc, 1996.

GRAY, N. F. **Drinking Water Quality. Problems and Solutions**. John Wiley & Sons. Trinity College, University of Dublin, Ireland, 1994.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional De Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

MANZ, D. H. **New Horizons for Slow Sand Filtration**. In: The eleventh Canadian National Conference and Second Policy Forum on Drinking Water, Promoting Public Health Through Safe Drinking Water, Calgary, Canada, 2004.

MST. **Quem Somos**. Disponível em: <<https://mst.org.br/quem-somos/>>. Acesso em: 9 fev. 2020.

NAPURÍ, C. B.; RUIZ, R. T.; LAMPOGLIA, T. C.; PITTMAN, R. A. **Guía de Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades**. CEPIS, 2009.

Parque Atalaia completa 15 anos neste terça-feira. **O DEBATE – Diário de Macaé**. Macaé, 27 de abril de 2010. Disponível em <<https://www.odebateon.com.br/site/noticia/impressao/12042/parque-atalaia-completa-15-anos-nesta-terca-feira->>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2020.

PROSAB. **Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. FINEP, 1999.

SANCHEZ, L. D. **Limpieza de la Biomembrana em um Filtro Lento en Arena y su Efecto al Inicio de la Carrera de Filtración**. Tesis de Maestria. Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Abril. Santiago de Cali, Colombia, 1996.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **24 º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2018**. Brasília. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretária Nacional de Saneamento, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal

de Minas Gerais, 1996.

**WHO/UNICEF. Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baseline. World Health Organization, 2017.**

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality.** Geneva. World Health Organization, 2017.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene.** World Health Organization, 2014.