

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FILTRAÇÃO LENTA COM RETROLAVAGEM PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Marcio Massanori Ishii

Orientador: Bruno Segalla Pizzolatti

2013.1



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

FILTRAÇÃO LENTA COM RETROLAVAGEM PARA
TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO


MARCIO MASSANORI ISHII

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental-TCC II

BANCA EXAMINADORA:


Prof. BRUNO SEGALLA PIZZOLATTI
Orientador


Msc. JULIANA MARQUES SCHÖNTAG
Membro da Banca


Engo. FERNANDO HYMNÓ DE SOUZA
Membro da Banca

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2013

Agradecimentos

Quero agradecer primeiramente aos meus pais, Sadao e Eliza e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para me ajudar a chegar até esta etapa de minha vida e por serem os responsáveis diretos na formação de meu caráter.

Ao meu irmão Hideki pelo apoio e companheirismo de sempre.

Ao amigo e orientador Bruno Segalla Pizzolatti por todo o auxílio e amizade durante minha graduação.

Aos amigos da UFSC, em especial Tiago, Felipe, Diego e Renan, sem os quais a jornada até aqui teria sido muito mais difícil.

Aos meus amigos Aloísio e Letícia pela amizade e contribuição para a realização deste trabalho.

Aos amigos do LAPOÁ Juliana, Marina, Fernando e Victor.

Ao professor Mauricio Luiz Sens, responsável pelo LAPOÁ.

À CASAN e aos técnicos da ETA Lagoa do Peri por sempre estarem dispostos a ajudar.

Aos amigos do KenZen, minha segunda família.

E por fim, aos membros da banca, que se dispuseram a conhecer, avaliar e contribuir para a melhoria deste trabalho.

Índice de figuras

Figura 1 - Valores recomendados de água bruta para uso da filtração lenta	2
Figura 2 - Arranjo de fitro lento com nível de água constante	6
Figura 3 - Arranjo de filtro lento com nível de água variável	7
Figura 4 - Raspagem da areia	14
Figura 5 - Localização Lagoa do Peri.....	17
Figura 6 - Bomba e Poço de captação	19
Figura 7 – Perda de Carga (a) e Expansão (b) x velocidade de aproximação da água	21
Figura 8 - Sistemas Piloto.....	22
Figura 9 - Configuração interna de um filtro do sistema (sem escala)	23
Figura 10 - Detalhe da câmara de carga	23
Figura 11 - Esquema do Sistema 1 (FLR)	25
Figura 12 - Esquema da lavagem do FLR	26
Figura 13 - Esquema do Sistema 2 (FLRb)	27
Figura 14 - Esquema da lavagem do FLRb	28
Figura 15 – Piezômetro instalado no FLR.....	30
Figura 16 - Desenvolvimento da perda de carga na 1ª carreira de filtração.....	34
Figura 17 - Desenvolvimento da perda de carga na 2ª carreira de filtração.....	34
Figura 18 - Desenvolvimento da perda de carga na 3ª carreira de filtração.....	35
Figura 19 - Turbidez média durante a retrolavagem no FLR	36
Figura 20 - Turbidez média durante a retrolavagem no FLRb	36

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características usuais da areia de filtros lentos.....	9
Tabela 2 - Remoção de microrganismos em filtros lentos segundo vários autores	9

Tabela 3 – Turbidez e cor.....	31
Tabela 4 - Oxigênio dissolvido e temperatura.....	32
Tabela 5 - Duração da carreira de filtração	33

Lista de siglas.

LAPOA – Laboratório de Potabilização das Águas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LALP – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri

CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

FLR – Filtro Lento Retrolavável

FLRb – Filtro Lento Retrolavável com água Bruta

OD – Oxigênio Dissolvido

MVP – Máximo Valor Permitido

Resumo

Filtros lentos são econômicos e muito eficientes quando operados corretamente e abastecidos com uma água bruta com características corretas (baixos valores de cor, turbidez e algas), sendo assim uma ótima tecnologia a ser utilizada em pequenas comunidades. No presente trabalho avaliou-se a retrolavagem em dois filtros lentos, um sistema lavado com água filtrada (FLR), armazenada em um reservatório elevado e outro sistema lavado com a água bruta (FLRb). Ambos os sistemas operam com taxa de filtração de 4 m³/m²dia e carga hidráulica variável. Avaliou-se a água filtrada em termos de turbidez, cor aparente, oxigênio dissolvido, temperatura, perda de carga no meio filtrante e a avaliação do tempo ótimo para a limpeza, utilizando a turbidez. A turbidez da água filtrada enquadrou-se no padrão de potabilidade da Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde, ficando abaixo de 1 uT, mas o FLR obteve valores mais baixos de turbidez. O FLR e o FLRb removeram respectivamente 55% e 64% da cor aparente, tiveram 4,3 e 5 dias de carreira de filtração em média e grande parte do oxigênio da água foi consumido, indicando uma atividade microbiológica grande.

Palavras chave: Tratamento de água, filtro lento, retrolavagem.

Abstract

Slow sand filters are economic and very efficient when operated properly and supplied with raw water with the right characteristic, making it a great technology to be used in small communities. In this study we evaluated the backwash in two slow sand filters, one system washed with filtered water (FLR), stored in an elevated reservoir and other system flushed with raw water (FLRb). Both systems operated at a filtration rate of 4 m³ / m² day and hydraulic load variable. We evaluated the filtered water in terms of turbidity and color, dissolved oxygen, temperature, head loss in the sand bed and the evaluation of the optimal time for cleaning using the turbidity as parameter. The turbidity of the filtered water framed on the potability standards of decree N°. 2914/11 of the Brazilian Ministry of Health, staying below 1 NTU, but the FLR obtained lower values of turbidity comparing to the FLRb. The FLR FLRb and removed respectively 55% and 64% of the apparent color, had an average of 4.3 and 5 days in their career filtration, and large part of the water of oxygen was consumed, indicating a biological activity

Keywords: Water treatment, slow sand filter, backwash

Sumário

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivos	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3.	Fundamentação teórica.....	3
3.1	Filtro lento	4
3.2	Camada filtrante	8
3.3	Água sobrenadante	10
3.4	Sistema de drenagem.....	10
3.5	Princípios da filtração lenta.....	10
3.6	Camada biológica	11
3.7	Lavagem dos filtros.....	12
3.8	Lavagem tradicional.....	12
3.9	Retrolavagem.....	15
4.	Metodologia	16
4.1	Localização do sistema piloto	16
4.2	Dimensionamento do sistema piloto	19
4.2.1	Descrição e operação dos sistemas piloto	21
4.2.2	Filtro lento retrolavável – Sistema 1	24

4.2.3 Filtro lento retrolavável com água bruta – Sistema 2
26

5.	Instalação dos sistemas piloto.....	28
6.	Parâmetros de controle	29
6.1	Cor e turbidez	29
6.2	Oxigênio dissolvido e temperatura	29
6.3	Perda de carga/duração das carreiras de filtração.....	29
6.4	Controle da turbidez na retrolavagem.....	30
7.	Resultados e discussão.....	31
7.1	Turbidez e cor	31
7.2	Oxigênio dissolvido e temperatura	32
7.3	Duração das carreiras de filtração.....	32
7.4	Avaliação do tempo ótimo para limpeza	35
8.	Conclusões e recomendações	37
9.	Referências bibliográficas	39

1. Introdução

Com a expansão das cidades e o crescimento da população, a busca por novas fontes de captação de água torna-se necessária, uma vez que com o maior consumo as atuais passam a ser insuficientes para suprir a necessidade atual. Um inconveniente, é que por muitas vezes, a fonte encontrada é muito distante do centro consumidor, tornando a opção pouco viável devido à maior possibilidade de perdas por vazamento acarretando o aumento do custo da água tratada. Outro problema está relacionado à qualidade da água destinada ao abastecimento público.

O tratamento da água de abastecimento público é fundamental para garantir a saúde dos usuários. Quando não tratada, contaminada ou poluída a água pode ser veículo de transmissão de doenças como Febre Tifóide, Cólera, Hepatite A e Amebíase entre muitas outras patologias. Microrganismos presentes em dejetos humanos ou animais infectados, por exemplo, podem atingir mananciais e outras fontes de água podendo trazer malefícios à saúde das pessoas, diante deste cenário, é de fundamental importância garantir a qualidade da água fornecida através de tratamento adequado.

As tecnologias existentes atualmente para o tratamento de água variam das mais simples até as mais complexas, adotadas em função da qualidade da água a ser tratada. Dentre os diversos tipos de tratamento, a filtração lenta pode ser empregada com sucesso quando objetiva-se tratar uma água de qualidade consideravelmente boa, possuindo uma turbidez inferior a 10 uT (DI BERNARDO, DANTAS, 2005).

Sendo o Brasil um país onde apenas 33% da população rural tem acesso à água tratada, e mais de 70% dos municípios possuem menos de 2500 habitantes (IBGE,2010), a adoção de um sistema de tratamento descentralizado como a filtração lenta pode ser viável.

A filtração lenta descarta a utilização de coagulantes químicos, quando se tem água bruta de características adequadas, e exige um baixo investimento para sua implantação, sendo assim um sistema de tratamento bastante viável principalmente para as pequenas comunidades (PATERNIANI, CONCEIÇÃO, 2004). A Figura 1 traz as

recomendações de alguns autores quanto às características da água bruta para aplicação no filtro lento.

Figura 1 - Valores recomendados de água bruta para uso da filtração lenta

Parâmetro	Valores máximos recomendados	
	Di Bernardo; Dantas (2005)	Cleasby (1991)
Turbidez (uT)	100% < 15 95% < 10 90% < 5	5
Cor verdadeira (uC)	100% < 10 95% < 5	-
Ferro (mg Fe/L)	100% < 1,5 95% < 1,0 90% < 0,5	0,3
Manganês (mg Mn/L)	100% < 0,7 95% < 0,5 90% < 0,2	0,05
Algas	100% < 500 (UPA/mL) 95% < 250 (UPA/mL) 90% < 100 (UPA/mL)	5µg clorofila-a/L
Coli. Totais (NMP/100mL)	100% < 1000 95% < 250 90% < 100	-
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	100% < 500 95% < 250 90% < 100	-

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas (2005)

O presente trabalho terá foco na comparação da qualidade da água tratada por um filtro lento retrolavável com água filtrada e um filtro lento retrolavável com água bruta.

A retrolavagem tem o intuito de facilitar a operação do filtro, uma vez que se torna desnecessária a remoção de parte da areia para a limpeza, pois esta é feita com o auxílio de válvulas. A retrolavagem com água bruta permite-nos economizar água tratada, desta maneira diminuindo o tempo em que o filtro fica sem produzir água.

O trabalho será desenvolvido na Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri em Florianópolis, em parceria com o Laboratório de Potabilização das Águas – LAPOÁ, na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. A água bruta utilizada já foi caracterizada em diversos

estudos, nos quais concluiu-se que esta possui cor moderada, baixa turbidez e elevada densidade de fitoplâncton (SIMONASSI, 2001; MONDARDO, 2004; CORAL, 2009).

Para o desenvolvimento do trabalho, serão utilizados dois filtros piloto que serão operados em paralelo sob as mesmas condições operacionais. A comparação será realizada com base nos valores de turbidez, cor verdadeira, cor aparente, temperatura, oxigênio dissolvido, desenvolvimento da perda de carga, tempo de carreira de filtração e avaliação do tempo ótimo para a limpeza, utilizando a turbidez. Os resultados obtidos serão comparados com a portaria 2914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

O presente trabalho é uma continuação dos estudos iniciados anos atrás coordenados pelo LAPOÁ e supervisionado pelo professor Maurício Luiz Sens. Ressalta-se também que os estudos apresentados são pioneiros e, portanto, há a necessidade de mais estudos futuros a fim de complementar os resultados.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa comparar a qualidade da água produzida por um filtro lento retrolavável com água filtrada e um filtro lento retrolavável com água bruta.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os parâmetros operacionais dos filtros estudados;
- Avaliar a qualidade da água bruta e filtrada em termos de parâmetros físico-químico;
- Comparar os dois sistemas de limpeza para a obtenção de água tratada.

3. Fundamentação teórica

O Brasil é um país de grande extensão territorial, dificultando assim o acesso à água potável para boa parte de sua população. As áreas mais isoladas e pequenas cidades são as que mais sofrem com este problema e diversas são as tecnologias que podem ser empregadas para

suprir essa necessidade, tais como: domiciliar, consistida em coletar e armazenar a água da chuva, coletiva, consistida em uma torneia comunitária atendendo certa quantidade de residências e convencional, onde o abastecimento de água em cada residência é feito através da rede de abastecimento (Pizzolatti, 2010). Mais de setenta por cento dos municípios brasileiros possuem menos de 20.000 habitantes (IBGE – 2010), sendo assim, uma boa opção para o tratamento da água em zonas rurais e pequenas comunidades é a implantação de uma estação de tratamento de água (ETA) que utilize a tecnologia da filtração lenta.

3.1 Filtro lento

O processo de filtração consiste basicamente na separação sólido – líquido, que visa à remoção das impurezas da água por sua passagem através de um material poroso (areia entre outros) com o envolvimento de fenômenos físicos, químicos e biológicos, (DI BERNARDO, 1993) melhorando assim a qualidade da água bruta.

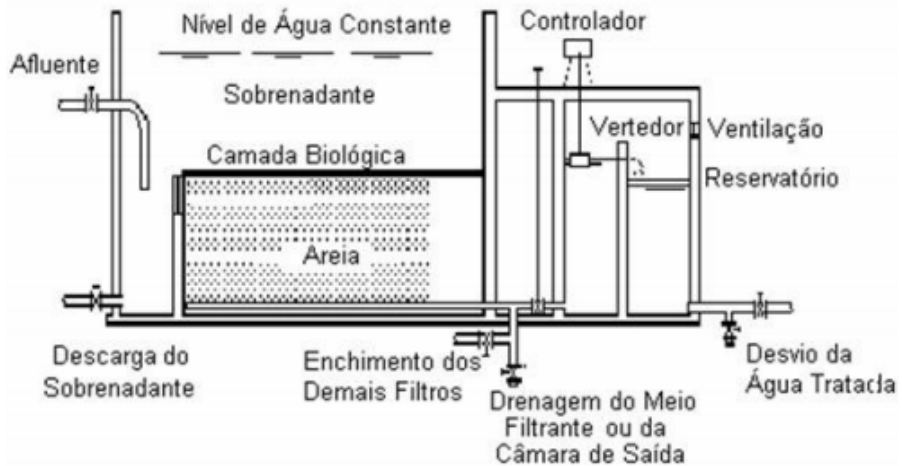
Os filtros lentos são caracterizados por trabalhar com taxa de filtração de 2 a 14 m³/m²dia, 20 a 50 vezes menores que os filtros rápidos (HUISMAN, 1974). Filtros lentos são utilizados desde o começo do século XIX e vêm se mostrando muito eficazes quando bem operados e aplicado para tratar água bruta com as características corretas (DI BERNARDO, BRANDÃO, HELLER, 1999). Por ser um tratamento que não requer a utilização de produtos químicos como coagulantes, acaba sendo considerado uma tecnologia de relativamente fácil operação e o uso de taxas baixas permite que a água permaneça um grande tempo sob a camada de areia, garantindo uma grande atividade biológica e consequentemente uma água com qualidade suficiente para uma desinfecção efetiva (DI BERNARDO, BRANDÃO, HELLER 1999).

Essencialmente, os filtros lentos descendentes são compostos por, uma camada filtrante geralmente de areia, tubulação de descarga de sobrenadante, tubulações e sistema de válvulas para regular a vazão de água por todo o sistema e nos filtros nos quais o nível de água é constante, existe também um tanque para controlar a vazão da água bruta (HUISMAN 1974).

Quanto à coluna de água, podem operar com nível constante ou variável como mostra a Figura 2 e a Figura 3 respectivamente. A

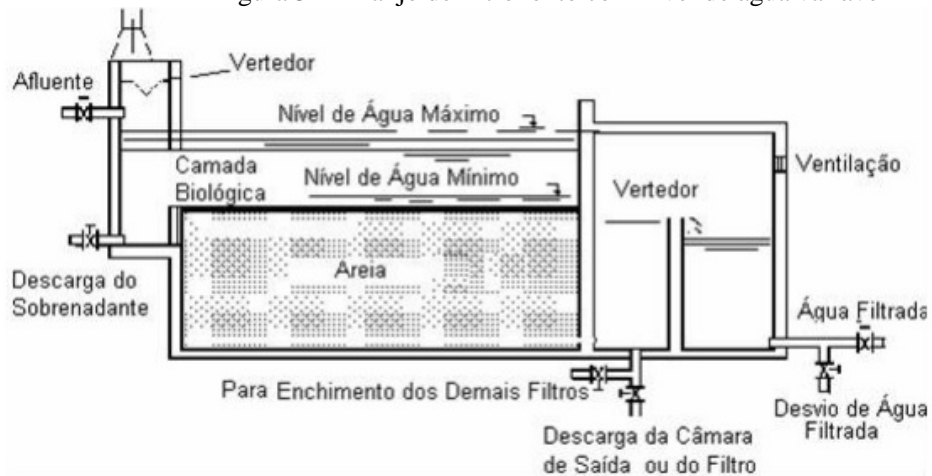
eficiência dos dois filtros é praticamente a mesma, mas do ponto de vista econômico e operacional o de nível variável é preferível (DI BERNARDO, BRANDÃO HELER, 1999 *apud* DI BERNARDO E ALCÓCER C, 1996).

Figura 2 - Arranjo de fitro lento com nível de água constante



Fonte: Di Bernardo, Brandão e Heller(1999)

Figura 3 - Arranjo de filtro lento com nível de água variável



Fonte: Di Bernardo, Brandão e Heller(1999)

O fator limitante na eficiência da filtração segundo Di Bernardo (1999) é a turbidez da água a ser tratada, visto que este parâmetro de qualidade da água reflete a quantidade de partículas presentes na água, às quais muitos organismos encontram-se aderidos. Muitos pesquisadores sugerem 10 uT a turbidez da água bruta a ser tratada nos filtros lentos, de modo a garantir uma água filtrada com baixa turbidez possibilitando uma desinfecção eficiente e longas carreiras de filtração (DI BERNARDO e DANTAS 2005).

3.2 Camada filtrante

É na camada filtrante que ocorre, de fato, a filtração. A camada mais inferior formada geralmente por pedregulhos é denominada camada suporte e tem por finalidade a prevenção da obstrução do sistema pela penetração da areia fina e esta deve ser fixa, ou seja, indeformável sob ação de cargas. Normalmente são utilizados pedregulhos como camada suporte e a camada filtrante geralmente é de areia. A areia deve ser isenta de argila, matéria orgânica e outras impurezas como carbonato de sódio, magnésio, exceto em quantidades pequenas, alumínio ou material calcário. A presença de sais de sódio e magnésio tornam a água dura e material calcário ou alumínio aumentam a resistência do atrito da areia ao escoamento da água (AZEVEDO NETO 1979). Huisman (1974) afirma que o meio filtrante deve ser composto de um material durável e preferencialmente de forma arredondada.

As principais características para a seleção do material componente da camada filtrante são o tamanho efetivo, coeficiente de uniformidade, coeficiente de esfericidade e os diâmetros máximos e mínimos dos grãos.

Após diversas pesquisas realizadas com diferentes granulometrias, Di Bernardo e Dantas (2005) chegam à conclusão a respeito das características de meios filtrantes mais eficientes, demonstradas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo.

Tabela 1 - Características usuais da areia de filtros lentos

Parâmetro	Valor usual
Espessura da camada (m)	0,6 a 0,9
Tamanho dos grãos (mm)	0,104 a 1,0
Coefficiente de desuniformidade	2 a 4
Tamanho efetivo (mm)	0,15 a 0,30
Porosidade Inicial	0,38 a 0,40
Massa específica (t/m ³)	2,6 a 2,7

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005)

Di Bernardo e Rivera (1996) perceberam a influência do coeficiente de uniformidade na eficiência da filtração lenta convencional. Os autores concluíram ser maior a penetração de impurezas (espessura da camada biológica) com o aumento do coeficiente de uniformidade e como consequência, carreiras e filtração mais longas.

Filtros lentos têm por característica possuir uma elevada eficiência na remoção de coliformes, bactérias, vírus e cistos de *Giardia*, além da boa eficiência na remoção da turbidez e cor aparente. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** abaixo mostra alguns valores de remoção reportados por vários autores.

Tabela 2 - Remoção de microrganismos em filtros lentos segundo vários autores

Microorganismo	Porcentagem de remoção (*)	Autor
Coliformes Totais	>99%	Bellamy et al. (1985a)
Vírus (Poliovirus 1)	98,25- 99,99%	Poynter e Slade (1977)(**)
Cistos de <i>Giardia</i>	>98%	Bellamy et al. (1985a)
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	>99,9%	Timms et al. (1995)
Cercárias de <i>Schistosoma</i>	100%	Galvis et al. (1997)

(*) valores obtidos em estudos realizados em escala piloto

(**) apud Wheeler et al. (1988)

(*) autores apud Di Bernardo, Brandão e Heller (1999)

Esta alta percentagem de remoção de microrganismos patogênicos, principalmente o vírus pode ser devido à adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante (WHEELER *et al.*, (1998) *apud* DI BERNARDO, BRANDÃO, HELLER (1999))

Murtha e Heller (1999a) afirmam ser nos primeiros 30 cm iniciais do meio filtrante onde predominam a remoção de sólidos e microrganismos e em sua extensão restante, as variações foram mínimas, possibilitando assim uma possível diminuição da espessura mínima para 40 a 60 cm segundo Emmendoerfer(2006).

3.3 Água sobrenadante

A camada de água sobrenadante fornece pressão (carga hidráulica) suficiente para fazer a água passar pelo meio filtrante e controla o tempo de retenção da água bruta, entretanto, este volume de água jamais deve ser considerado como tanque de decantação. Se a água bruta possui uma turbidez alta, é necessário a instalação de um pré tratamento para possibilitar maiores carreiras de filtração (VAN DIJK *et al.*, 1978; HUISMAN, 1974).

Segundo Azevedo Netto (1979), a diferença entre o nível da água acima da camada filtrante e a saída do sistema de drenos varia entre 0,9 m e 1,5 m, sendo o máximo recomendado de 1,20 m, pois este valor ainda permite um bom controle da vazão dos filtros.

Além disso, o nível de água sobrenadante vai determinar a hora de lavar o filtro. Como adotado para projeto, assim que a perda de carga atingir 80 cm encerra-se a carreira de filtração e lava-se o filtro.

3.4 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem além de coletar a água filtrada, dá suporte ao meio filtrante a fim de manter uma velocidade de filtração constante por toda a área do filtro (VAN DIJK *et al.*, 1978).

3.5 Princípios da filtração lenta

A filtração lenta é a fundamental para a produção uma água de boa qualidade, sendo assim, uma importante barreira sanitária, precedendo a desinfecção final (DI BERNARDO, DANTAS (2005)).

As partículas em suspensão removidas na filtração são influenciadas pelas características físicas e químicas das partículas, do meio filtrante, da taxa de filtração, das características químicas da água

e da maneira de operação do filtro (AMIRTHARAJAH, 1988). São três os mecanismos responsáveis pela remoção das partículas: transporte, aderência e processos microbiológicos (COSTA, 1980 e Sá, 2006).

As impurezas retidas podem ser até 100 vezes menores que o espaço entre os grãos o meio filtrante (COSTA, 1980), tal fato só é possível graças aos processos biológicos que acontecem na parte superior do filtro após sua maturação (WEBER-SHIRK & DICK, 1997b).

3.6 Camada biológica

A eficiência da filtração lenta depende da camada biológica, também chamada de *Schmutzdecke* (*Schmutz* = sujo e *decke* = camada). Esta camada é responsável pela retenção das menores partículas. A atividade biológica ocorre no *Schmutzdecke*, preferencialmente no topo do meio filtrante, mas pode se estender até os 40 cm de profundidade (DI BERNARDO & DANTAS 2005).

O biofilme é formado principalmente por partículas inertes, matéria orgânica e uma grande quantidade de microrganismos como bactérias, algas e protozoários, entre outros (DI BERNARDO & DANTAS (2005)).

Os grupos responsáveis pela atividade biológica são as bactérias, algas e zooplâncton. As bactérias geram colônias e se aderem aos grãos de areia adsorvendo assim as partículas presentes na água bruta, concomitantemente, alguns microrganismos produzem polímeros extracelulares que permitem a aderência das partículas no meio filtrante e melhoram a remoção no filtro (JELLISON, 2000 *apud* FARIAS, 2011).

Inicialmente, a maior parte dos microrganismos que formam o *Schmutzdecke* localiza-se na camada mais superficial do meio filtrante, mas à medida que o filtro vai amadurecendo, a flora bacteriana migra para camadas mais profundas, aumentando a camada onde há a purificação da água em cerca de 40 cm (VARESCHE, 1989 *apud* AGUILA, 2003).

Di Bernardo, Brandão e Heller (1999) afirmam que apesar do importante papel das algas, bactérias, protozoários entre outros microrganismos presentes na água bruta para a formação da camada biológica no filtro lento, quando em elevadas concentrações, influenciam de forma negativa o processo de filtração, colmatando

assim o meio filtrante mais rapidamente, fato que contribui para a formação do *Schmutzdecke* mais impermeável, diminuindo assim a duração da carreira de filtração.

Outro problema relacionado à presença de algas na água bruta ou filtrada é a possibilidade de gerar sabor e odor, além do fato de algumas espécies liberar toxinas, quando submetidas a stress (DI BERNARDO, BRANDÃO e HELLER, 1999).

3.7 Lavagem dos filtros

A limpeza do filtro lento de areia é uma das etapas mais importantes no processo de tratamento da água, sendo regulado pela perda de carga previamente estipulada em projeto. Ao atingir a carga hidráulica ou perda de carga estipulada, a taxa de filtração é alterada e o filtro passa a operar com taxa declinante e carga hidráulica constante, pois a quantidade de água que entra no filtro é diferente da quantidade da água filtrada pelo mesmo.

Richter e Azevedo Netto (2003) referem que há duas condições para se determinar a altura de lavar em relação à lavagem de filtros rápidos, além de dois critérios para a escolha do filtro a ser lavado: 1° Quando o nível de água atingir certo limite lava-se o filtro que estiver a operar há mais tempo; 2° Se houver controle da turbidez no efluente (água tratada) de cada filtro, lava-se o filtro que apresentar pior resultado.

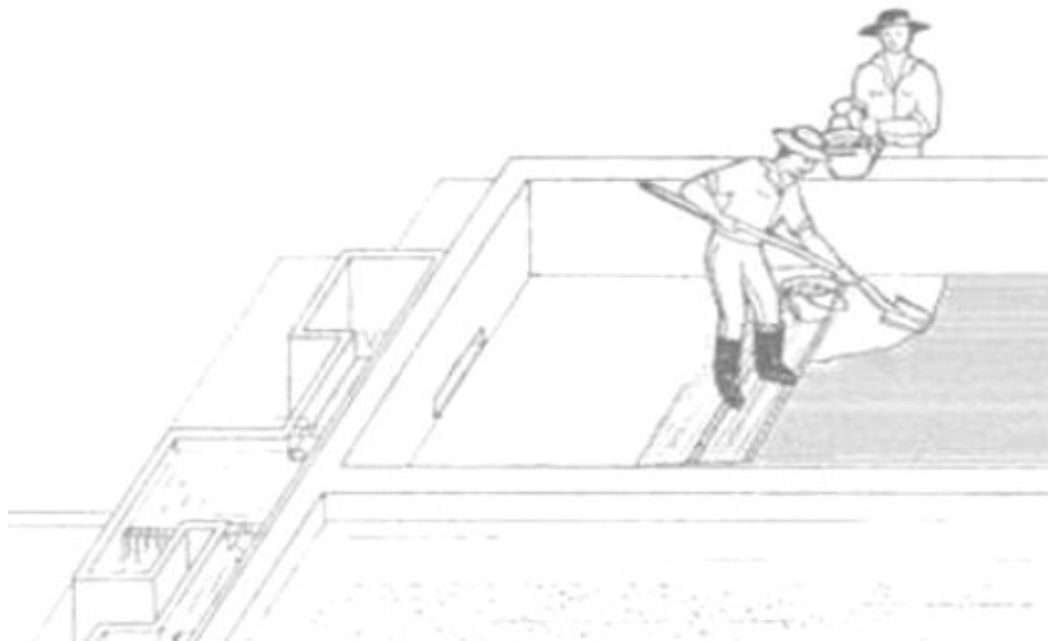
3.8 Lavagem tradicional

A carreira de filtração, para filtros lentos, tem duração média de 30 a 60 dias, sendo por este motivo considerada uma tecnologia que não exige muita manutenção e é de fácil operação (MEDINA, 2000).

No método tradicional de limpeza de filtros lentos (Figura 4), ocorre a drenagem até que o nível de água fique logo abaixo da superfície. Dessa forma, o *Schmutzdecke* e os primeiros 1 a 5 cm de areia são raspados, lavados e acondicionados para serem repostos no filtro quando a altura de areia do filtro ficar com a espessura mínima recomendada (60 cm). Extrair, limpar e repor a areia é uma operação trabalhosa e dependendo do tamanho do filtro pode levar um dia ou mais. Segundo Logsdon (2002), em um filtro com dimensões de 100 m² são necessárias mais de 50 horas para a execução da limpeza.

Para que a atividade biológica no filtro se inicie rapidamente após a limpeza, é necessário que a areia seja repostada corretamente, de modo que a camada mais superficial seja de areia já com o filme biológico formado (DI BERNARDO, 2005).

Figura 4 - Raspagem da areia



Fonte: Di Bernardo, 1997

3.9 Retrolavagem

A retrolavagem proposta por Sens em 1992 é simples e prática, pois pode ser realizada apenas com a abertura de uma válvula, a água vai entrar em contracorrente (por inversão de fluxo), com uma vazão capaz de assegurar uma expansão adequada para o meio filtrante, possibilitando assim uma limpeza eficiente (EMMENDOERFER, 2006).

Estudos realizados no LAPOÁ apresentam a retrolavagem como sendo uma forma de limpeza eficiente (EMMENDOERFER, 2006; PIZZOLATTI, 2010; SOUZA, 2012).

Segundo Emmendoerfer (2006) retrolavagem é uma forma de limpeza que economiza tempo e consequentemente diminui o custo comparada a limpeza manual em que o meio filtrante é raspado, lavado e após varias limpezas retorna ao filtro.

Com o objetivo de facilitar a limpeza do filtro, foi proposta por Sens (1992) a filtração lenta de escoamento descendente com retrolavagem, utilizando a água filtrada do próprio filtro para realizar a limpeza do meio filtrante.

Michielin (2002) em continuidade à proposta de Sens estudou as condições hidráulicas para a fluidificação do material filtrante desenvolvendo o primeiro sistema piloto de filtração lenta com retrolavagem. E em continuidade, Emmendoerfer (2006), avaliou a altura da camada filtrante, a duração das carreiras, qualidade da água tratada, aspectos hidráulicos e o desenvolvimento da lavagem.

Posteriormente, Marnoto (2008) produziu um sistema piloto que reproduzia o filtro lento retrolavável e avaliou diferentes expansões durante a retrolavagem e sua influência na duração nas carreiras de filtração, qualidade da água filtrada e tempo de formação da camada biológica.

Michelan (2010) avaliou a lavagem em um filtro lento convencional e em um retrolavável, ambos precedidos por filtração em margem de rio, concluindo que o tempo gasto para a realização da retrolavagem foi 50 vezes menor do que o tempo gasto na lavagem convencional.

Utilizando água proveniente da Lagoa do Peri, Pizzolatti (2010) avaliou e comparou a limpeza de 3 filtros lentos, um com limpeza por raspagem do meio filtrante, o segundo com retrolavagem utilizando água bruta e o terceiro utilizando água filtrada para retrolavagem.

Poersch (2012) estudou os aspectos hidráulicos, construtivos e de produção de 6 filtros lentos retrolaváveis sem reservatório elevado, configuração que possibilita retrolavagem sem um volume predeterminado, sendo assim, não há limite de tempo de retrolavagem pois a água de lavagem vem dos outros filtros.

Souza (2012) avaliou a influência do diâmetro efetivo do meio filtrante em filtros lentos retrolaváveis, em relação à qualidade da água produzida e produção efetiva de água.

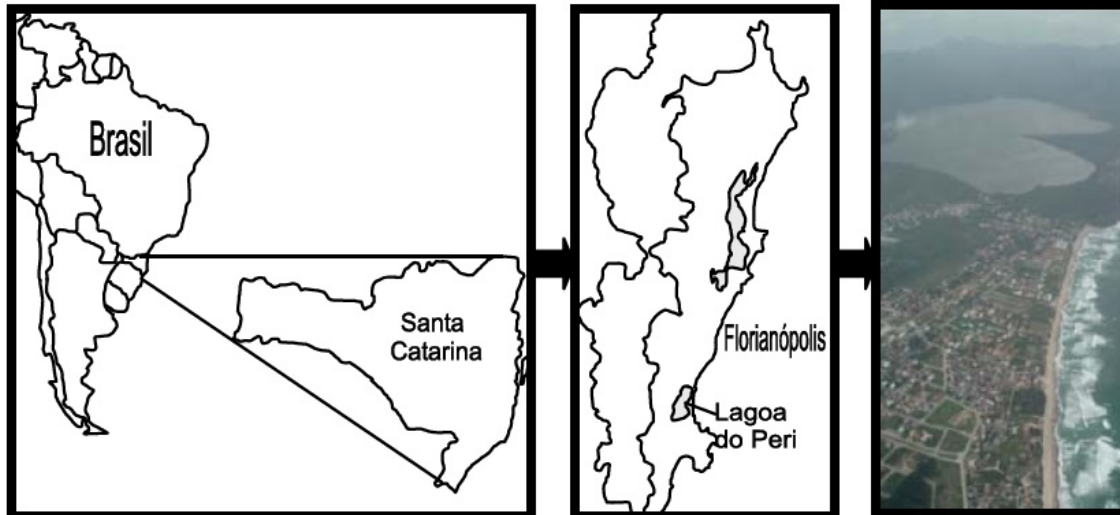
4. Metodologia

4.1 Localização do sistema piloto

O sistema piloto foi construído no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP) situado na Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), localizado ao sul de Florianópolis.

O manancial, Lagoa do Peri (Figura 5 - Localização Lagoa do Peri), tem área superficial de 5,2 km², bacia de contribuição de 20,1 km² e vazão média de 433,78 l/s sendo captados em média 200 l/s. (CASAN, 2013),

Figura 5 - Localização Lagoa do Peri

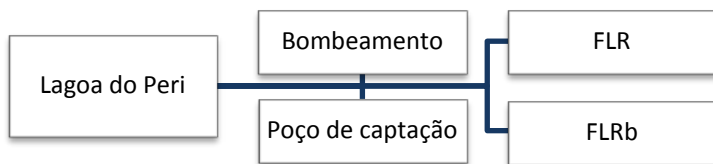


Fonte: Pizzolatti, 2010

A água de estudo que entra no sistema é proveniente da Lagoa do Peri. A água é succionada do mesmo poço de captação utilizado pela Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, operado pela CASAN, e então direcionada aos filtros.

Dificuldades operacionais foram verificadas no tratamento empregado na ETA (filtração direta) como a colmatação rápida dos filtros devido a certas características da água como cor moderada e alta densidade de fitoplâncton. (SIMONASSI, 2001; CORAL, 2009; PIZZOLATTI, 2010). A pesquisa de Pizzolatti (2010), Souza (2012) e Poersch (2012) em que filtros lentos foram alimentados pela água do manancial, apresentaram curtas carreiras de filtração.

O fluxograma a seguir exemplifica o esquema de captação e tratamento utilizado:



A água de estudo foi captada do poço de captação da ETA através de bomba auto-escorvante modelo BCA-2 com 1 cv (Figura 6) que fica ligada continuamente, conduzindo a água bruta até as unidades piloto de filtração lenta.

Figura 6 - Bomba e Poço de captação



4.2 Dimensionamento do sistema piloto

Para dimensionar o sistemas, foi estipulada uma produção média diária de 2500 litros por filtro, operando a uma taxa de filtração de 4 m³/m²dia, que está dentro da faixa de taxas de filtração de 2 a 14 m³/m²dia para filtros lentos segundo Huisman (1974). Considerando que em uma casa popular, uma pessoa utilize 120 litros de água por dia (TSUTIYA, 2006), esta produção seria suficiente para atender aproximadamente 20 pessoas.

De acordo com a equação 1, com os valores de taxa de filtração e vazão fixados, determinou-se a área superficial do filtro como sendo 0,625 m², sendo assim necessário um filtro de 0,90 m de diâmetro interno.

Equação 1

$$T = \frac{Q}{Af}$$

T = Taxa de filtração (m³/m².dia)

Q = Vazão do filtro (m³/dia)

$A_f = \text{Área superficial de filtração (m}^2\text{)}$

Segundo Murtha e Heller (1999b) a turbidez é removida nos primeiros 10 cm, onde predominam os mecanismos de retenção de sólidos em suspensão. Com relação aos parâmetros bacteriológicos os mesmos autores concluem que a maior parte da remoção de bactérias é realizada nos 30 cm iniciais da camada filtrante e após esses 30 cm, as variações foram pouco significativas, motivo pelo qual, a altura da camada filtrante adotada foi de 40 cm, e a granulometria da areia escolhida foi de 0,17 mm com coeficiente de desuniformidade igual a 1,5 em função de estudos preliminares (SOUZA, 2012). Vale ressaltar, porém, que em seu estudo Souza (2012) utilizou outro sistema piloto. No presente estudo foi utilizado somente um meio filtrante com as mesmas características em todos os filtros.

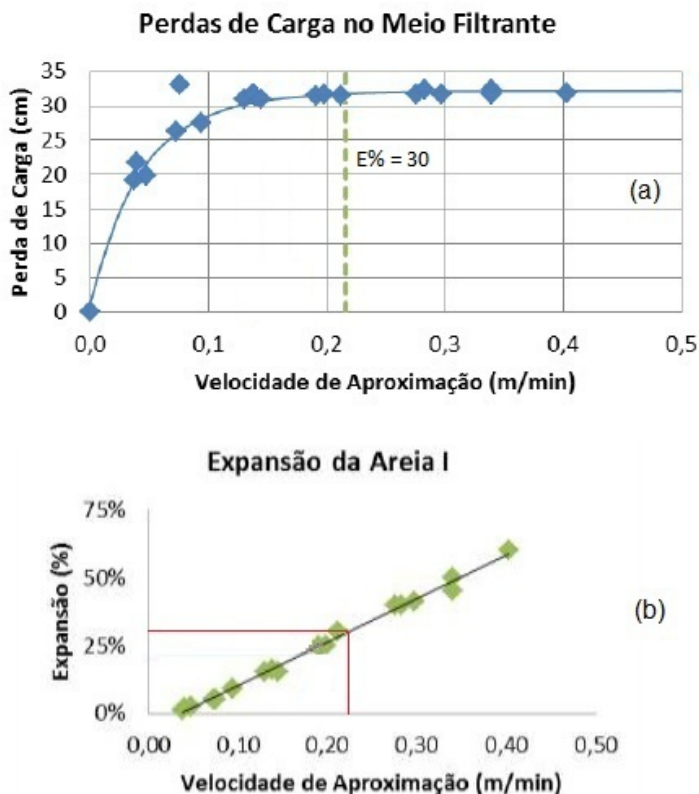
O sistema de retrolavagem sem a utilização de bombas foi dimensionado levando-se em conta estudos prévios de Souza (2012) sendo a expansão média da areia de 30.

A equação abaixo foi determinada a partir da correlação dos dados obtidos no ensaio de expansão, sendo assim, utilizando a Equação 2 temos que a velocidade de aproximação de 0,22 m/min, garantindo a fluidização total do meio. (Figura 7)

Equação 2

$$v_a = \frac{\left(\frac{E\%}{100} + 0,06\right)}{1,60}$$

Figura 7 – Perda de Carga (a) e Expansão (b) x velocidade de aproximação da água

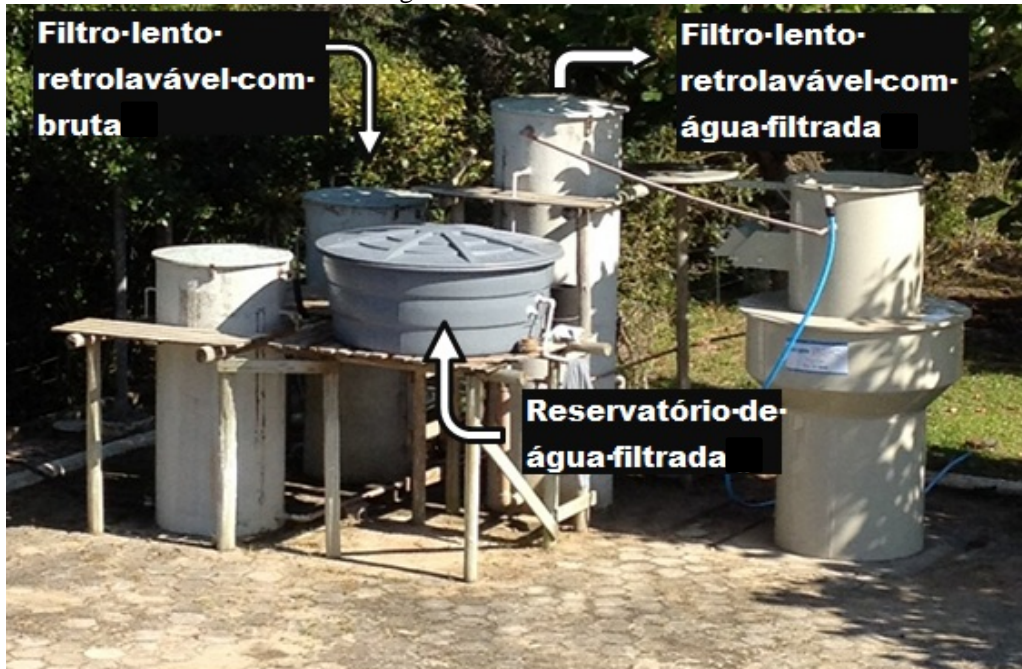


Fonte: Souza (2012)

4.2.1 Descrição e operação dos sistemas piloto

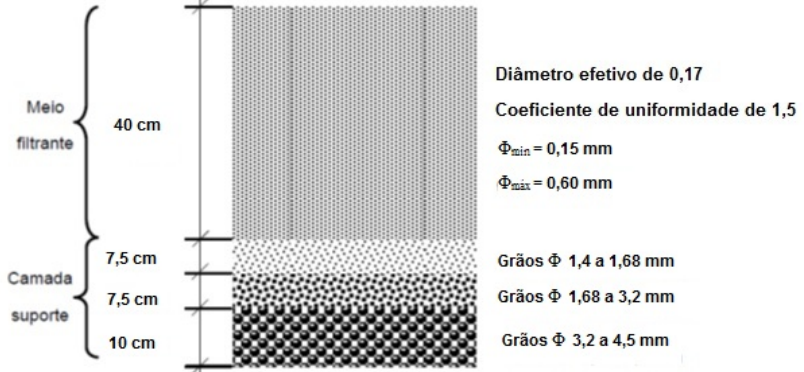
Os dois sistemas piloto foram construídos em fibra de vidro, com diâmetro de 90 cm, posicionados sobre um contra piso de concreto de 15 cm, para impedir sua movimentação lateral. Visando facilitar a inspeção e monitoramento dos filtros, também foi construída uma estrutura de madeira (Figura 8 - Sistemas Piloto

Figura 8 - Sistemas Piloto



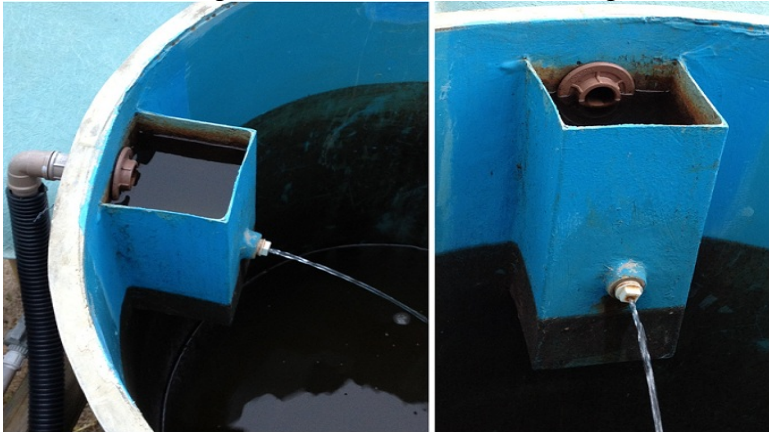
A configuração interna do filtro pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9 - Configuração interna de um filtro do sistema (sem escala)



O controle da vazão de entrada nos sistemas é feito através de uma câmara de nível constante (Figura 10). Para a produção aproximada de 2500 litros de água filtrada por dia, os filtros lentos de fluxo descendente trabalham com taxa de filtração de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia}$ e são de carga hidráulica variável.

Figura 10 - Detalhe da câmara de carga



Com o auxílio da Equação 3 determinou-se o diâmetro do orifício da câmara de carga de modo a garantir vazão suficiente para manter a taxa de filtração citada acima.

Equação 3

$$Q = Cd \times A \times 2 \times g \times h$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

Cd = Coeficiente de descarga = 0,82;

A = área do orifício (m²);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

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

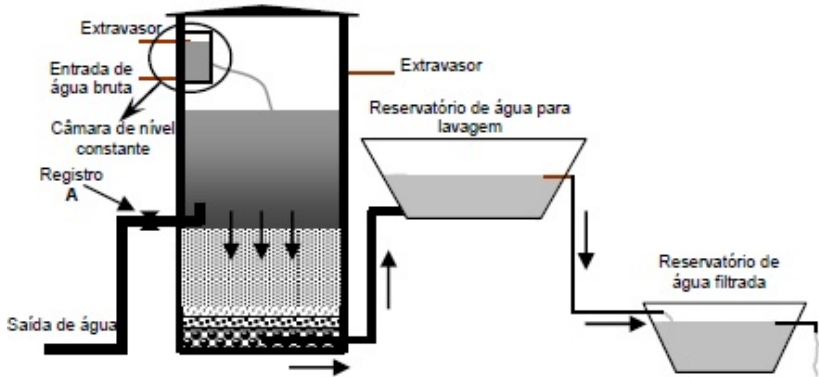
O tempo entre duas lavagens (carreira de filtração) foi definido quando a perda de carga atingisse 80 cm. Este parâmetro é monitorado com o auxílio de piezômetros instalados na lateral de cada filtro.

4.2.2 Filtro lento retrolavável – Sistema 1

O sistema 1 possui 3,00 metros de altura e diâmetro interno de 90 cm. O reservatório de água filtrada que é utilizada para a retrolavagem possui capacidade máxima de 1000 litros, sendo que o volume necessário para a lavagem pelos 8 minutos previstos é de 435 litros. As tubulações de entrada/saída da câmara de nível constante e que conduz a água filtrada para o reservatório de água filtrada possuem 25 mm e 75 mm de diâmetro, respectivamente.

A Figura 11 - Esquema do Sistema 1 (FLR) mostra os componentes do sistema 1, porém os detalhes e outras dimensões de construção serão especificados no Apêndice 1 - Filtro Lento Retrolavável.

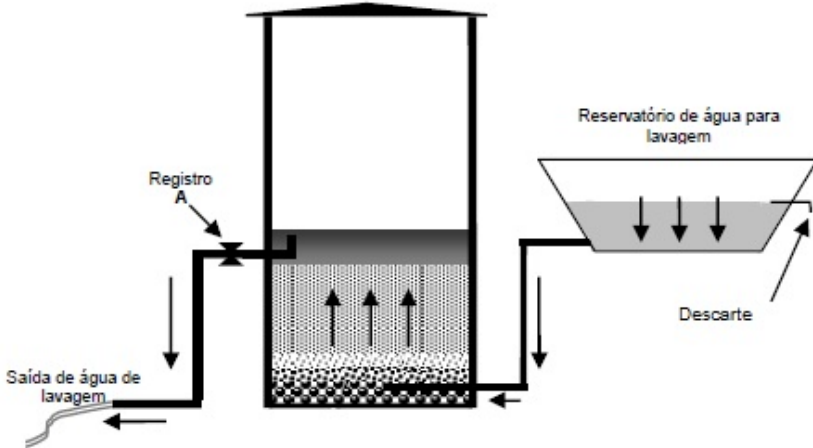
Figura 11 - Esquema do Sistema 1 (FLR)



Fonte: Pizzolatti, 2010

A limpeza do sistema 1 tem início com a abertura do Registro A (conforme mostra a Figura 12) Primeiramente, a água sobrenadante sai do filtro até o nível igualar-se ao nível de água do reservatório, então, por diferença de cotas (carga hidráulica) a água filtrada sai do reservatório e passa pela camada filtrante com o fluxo oposto ao original, realizando a retrolavagem. Este processo todo leva 8 minutos e a areia é fluidizada e sofre uma expansão de 30%.

Figura 12 - Esquema da lavagem do FLR

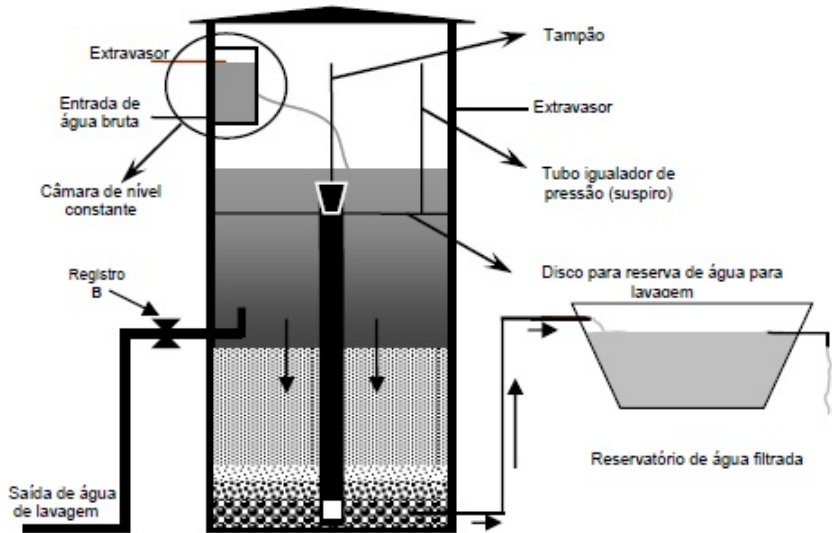


Fonte: Pizzolatti, 2010

4.2.3 Filtro lento retrolavável com água bruta – Sistema 2

Assim como no filtro anterior, o sistema 2 (Figura 13) também é feito em fibra de vidro e possui diâmetro interno de 90 cm, sua altura porém, é de 2,20 m e possui as respectivas tubulações de água. O desenho a partir do qual o sistema 2 foi construído pode ser visualizado no Apêndice 2- Filtro Lento Retrolável com Água Bruta

Figura 13 - Esquema do Sistema 2 (FLRb)

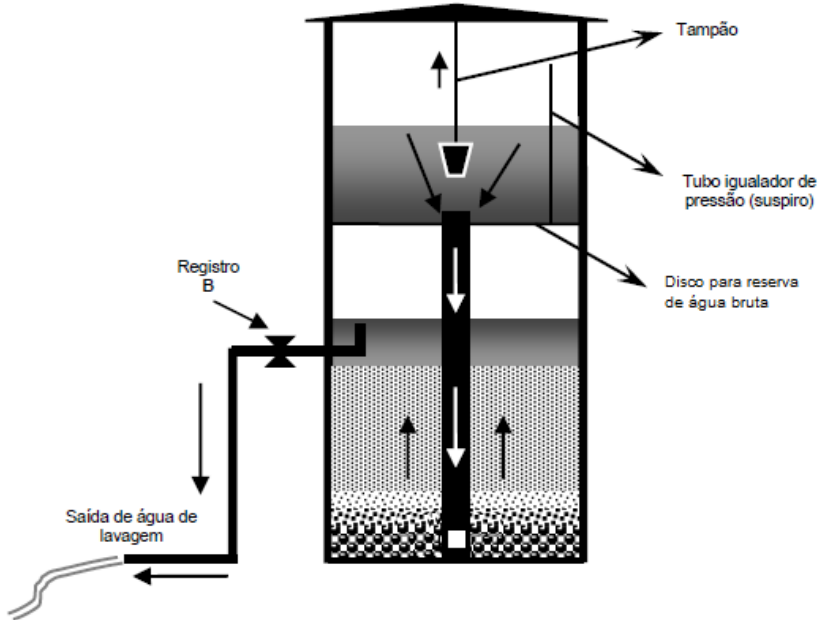


Fonte: Pizzolatti, 2010

A lavagem também se dá por contra fluxo, mas a diferença é que a água utilizada para a realização da retrolavagem é água bruta. A água bruta para lavagem é armazenada no próprio filtro. Com a abertura do Registro B, a água da câmara central sai e com a retirada do tampão a água bruta desce pelo tubo central do filtro e começa a retrolavagem

A lavagem também é realizada por 7 minutos e a expansão média da areia é de 30%.

Figura 14 - Esquema da lavagem do FLRb



Fonte: Pizzolatti, 2010

5. Instalação dos sistemas piloto

Os filtros lentos foram instalados em janeiro de 2009 inicialmente, com uma areia de diâmetro efetivo de 0,55 mm e somente em 2011 a camada filtrante e a camada suporte descritas no item 4.2.1 (diâmetro efetivo de 0,17 mm) foram substituídas. Ambas foram encomendadas com a empresa Alzira Materiais Filtrantes.

Antes de colocar a areia, testes hidráulicos foram realizados para verificar a vedação do corpo do filtro e canalizações. Verificada a vedação, a areia e camada suporte foram montadas nas conformidades da Figura 9.

Após a montagem da camada suporte e material filtrante, os filtros foram cheios vagarosamente a fim de eliminar bolhas de ar no interior da areia. Eliminadas essas bolhas, os filtros começaram a receber água bruta na vazão de projeto até que a perda de carga atingisse

0,80 m, encerrando a carreira de filtração, então os filtros foram lavados e iniciaram-se os ensaios de filtração.

6. Parâmetros de controle

Os parâmetros analisados no presente trabalho estão entre os mínimos exigidos pela Portaria nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde para considerar a potabilidade das águas.

Os parâmetros analisados foram: cor aparente, oxigênio dissolvido, turbidez e temperatura. Também foi monitorada a perda de carga no meio filtrante e a avaliação do tempo ótimo para a limpeza, utilizando a turbidez.

A coleta de todos os parâmetros e suas respectivas análises foram feitas diariamente, com o amadurecimento do meio filtrante.

6.1 Cor e turbidez

Serão analisados os parâmetros de cor e turbidez da água bruta e filtrada para avaliar o desempenho dos filtros. Os procedimentos das análises serão de acordo com os protocolos definidos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1988). Utilizou-se o método nefelométrico para turbidez e o espectrofotométrico para cor aparente.

Para a análise de turbidez foi utilizado o Turbidímetro HACH 2100P e para a análise de cor aparente o Fotômetro da HANNA HI 96727.

6.2 Oxigênio dissolvido e temperatura

O oxigênio dissolvido e a temperatura foram aferidos com o auxílio do medidor multiparâmetro / sonda oxigênio verificador modelo Hq40d da empresa Hack.

6.3 Perda de carga/duração das carreiras de filtração

A perda de carga foi medida visualmente através da diferença entre os níveis de água dos piezômetros instalados no início e fim da camada de areia (Figura 15 – Piezômetro). Como estipulado no projeto, ao atingir 80 cm de perda de carga, a carreira chegava ao fim e então o filtro era lavado.

Figura 15 – Piezômetro instalado no FLR



6.4 Controle da turbidez na retrolavagem

Para a otimização do tempo de limpeza dos filtros, foi utilizado a turbidez da água durante a retrolavagem, foram coletadas amostras da

água de lavagem durante o tempo de retrolavagem em intervalos de 15 segundos.

7. Resultados e discussão

A seguir, são apresentados os resultados do monitoramento dos sistemas piloto conforme descrito na metodologia. Para fins comparativos, a água da Lagoa do Peri utilizada também foi monitorada.

7.1 Turbidez e cor

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas análises de turbidez e cor.

Tabela 3 – Turbidez e cor

Parâmetro	AB	FLR	FLRb	Padrão de potabilidade
Turbidez (uT)	5,02 ± 1,34 (3,55 - 8,96)	0,80 ± 0,20 (0,6 - 1,35)	0,96 ± 0,32 (0,62 - 1,47)	5 (rede) 1 (Saída do tratamento)
Cor aparente (uH)	81,25 ± 14,58 (60 - 110)	36,67 ± 16,33 (20 - 60)	29,38 ± 14,25 (5 - 50)	15(após desinfecção)
Carreiras		3	3	

Os dois filtros monitorados forneceram água filtrada com turbidez abaixo do máximo valor permitido (MVP) de acordo com a Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde.

No FLR, das 13 amostras coletadas, 11 resultaram em turbidez inferior a 1 uT, sendo assim, 85% das amostras enquadraram-se na portaria. Já no FLRb, 8 das 13 (62%) enquadraram-se.

Em relação à cor aparente o FLR e o FLRb removeram respectivamente 55% e 64% da cor aparente, eficiência esta superior à apresentada por Murtha e Heller (2003) que obtiveram 41% na remoção utilizando filtros lentos convencionais. Ambos os filtros forneceram água filtrada com valores excedentes ao exigido pela mesma portaria, mas vale ressaltar que as amostras analisadas não passaram por processos de desinfecção e a utilização de um fotômetro com faixa de leitura de 10 unidades torna tais valores um “pouco” imprecisos.

Para a determinação da cor aparente, foram coletadas 8 amostras para AB e FLRb e 6 para o FLR.

7.2 Oxigênio dissolvido e temperatura

A Tabela 4 abaixo representa os resultados obtidos para os parâmetros de oxigênio dissolvido (OD) e temperatura.

O parâmetro oxigênio dissolvido foi analisado devido a sua importância para a ação biológica. A temperatura influencia na duração da carreira de filtração e nas reações químicas e variou de acordo com a condição climática.

Tabela 4 - Oxigênio dissolvido e temperatura

Piloto	Carreira	OD(mg/l)	Temperatura(°C)
AB		9,08 ^a ± 0,37 ^b (8,61 - 9,79) ^c	21,96 ± 1,33 (20,3 - 24,7)
FLR	3	2,59 ± 0,88 (1,17 - 4,23)	21,68 ± 1,42 (19,9 - 24,7)
FLRb	3	2,41 ± 0,91 (0,23 - 3,7)	21,56 ± 1,45 (19,9 - 24)

a média; b desvio padrão; c intervalo de dados

Após a filtração, uma boa parte do oxigênio foi consumido, sendo necessário assim uma aeração para retomar uma concentração de aproximadamente 9 mg/l da água filtrada, próximo a concentração de saturação a 20°C.

Este grande consumo de oxigênio na água filtrada pode ser devido a atividade biológica no meio filtrante.

A tabela foi gerada a partir de 14 dados para a AB e FLRb para cada um dos parâmetros, e a partir de 12 dados para o FLR para os mesmos parâmetros.

7.3 Duração das carreiras de filtração

A Tabela 5 que apresenta a duração das carreiras de filtração. No início do monitoramento, o filtro já estava em operação, portanto não

houve desconsideração de nenhuma carreira para aclimação dos filtros.

Durante o monitoramento, foi possível a realização de três carreiras de filtração válidas. Muitas carreiras foram descartadas devido a problemas externos, como falhas frequentes no fornecimento de água bruta. Esse déficit no fornecimento alterava a vazão de entrada e conseqüentemente o desenvolvimento da perda de carga e carreira de filtração.

Carreira n°	Duração da carreira de filtração (Dias)	
	FLR	FLRb
1	4	5
2	5	6
3	4	4

Tabela 5 - Duração da carreira de filtração

Em média, as carreiras tiveram 4,3 e 5 dias de duração para o filtro lento retrolavável e para o retrolavável com água bruta respectivamente.

As curtas carreiras já eram esperadas, tendo em vista o estudo anterior no qual Pizzolatti (2010) recomenda um pré-tratamento para a aplicação da filtração lenta no local de estudo, devido à influência das algas presentes na água bruta, e o estudo de Souza (2012) cujo trabalho envolveu meio filtrante de mesma granulometria e mesma taxa de filtração, resultando também em carreiras curtas.

Segundo Di Bernardo, Brandão e Heller (1999), as algas tem um importante papel na atividade biológica do filtro lento, mas quando em altas concentrações, podem causar o entupimento precoce do meio filtrante, diminuindo assim a carreira de filtração.

A evolução da perda de carga nos filtros foi representada nas figuras Figura 16, Figura 17 e Figura 18 abaixo.

Figura 16 - Desenvolvimento da perda de carga na 1ª carreira de filtração

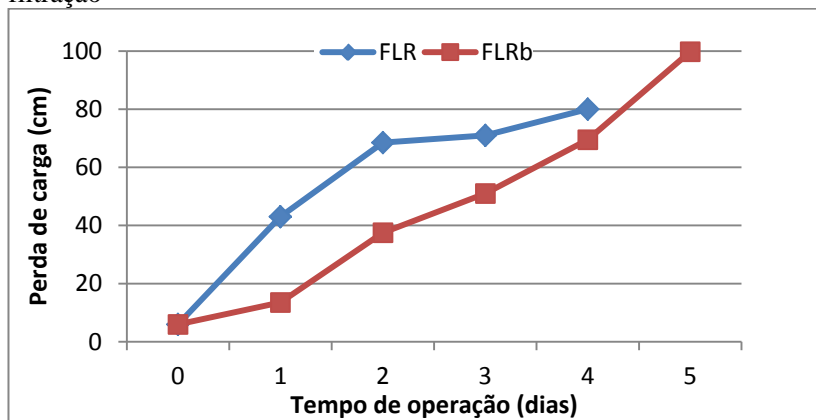


Figura 17 - Desenvolvimento da perda de carga na 2ª carreira de filtração

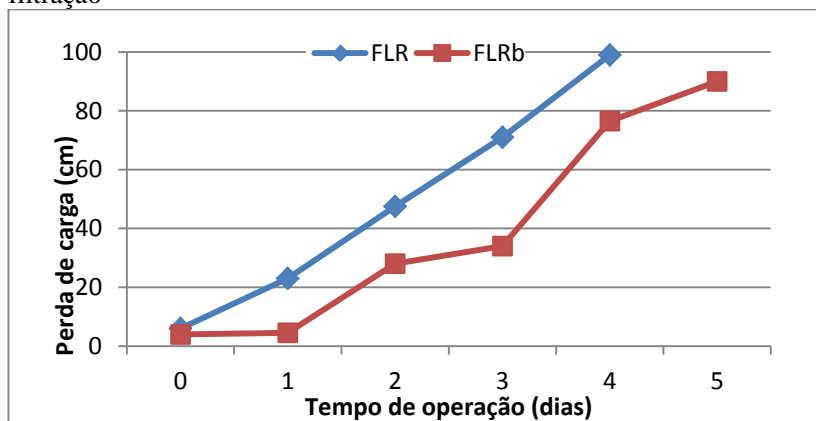
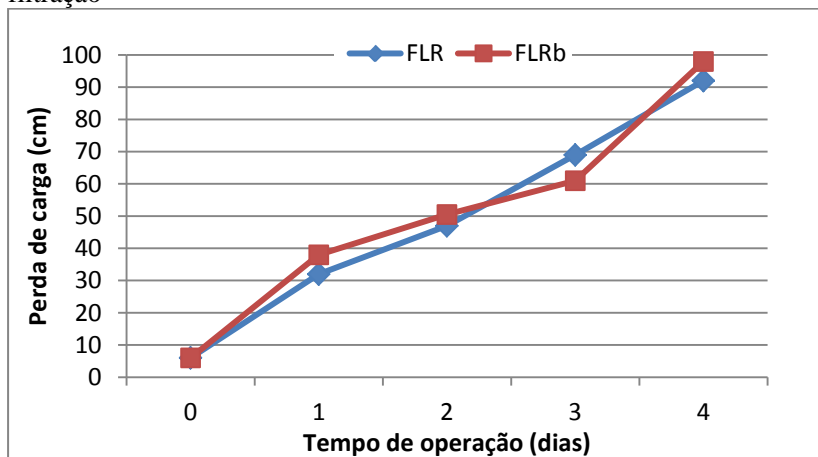


Figura 18 - Desenvolvimento da perda de carga na 3ª carreira de filtração



7.4 Avaliação do tempo ótimo para limpeza

Os filtros eram lavados uma vez por semana, após ambos atingirem 80 cm de perda de carga. Conforme descrito na seção 6.4. Em intervalos de 15 segundos a água de lavagem era coletada para análise de turbidez, cujos resultados estão representados abaixo (Figura 19 e Figura 20)

Figura 19 - Turbidez média durante a retrolavagem no FLR

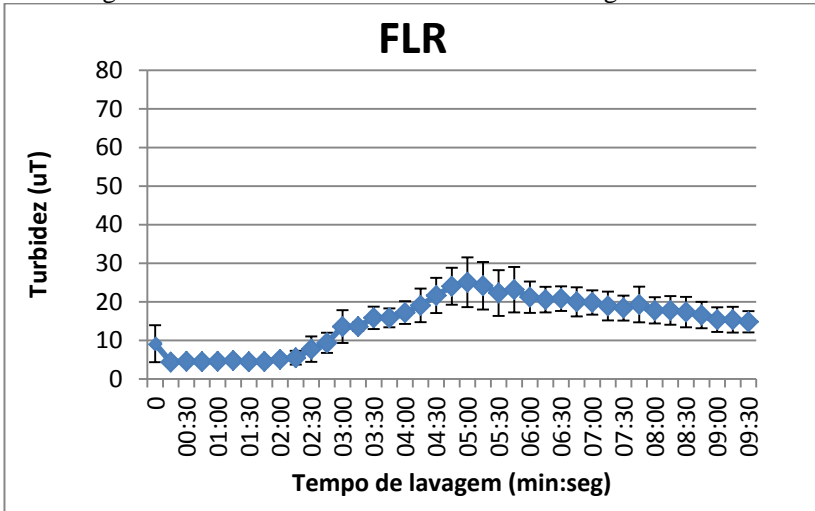
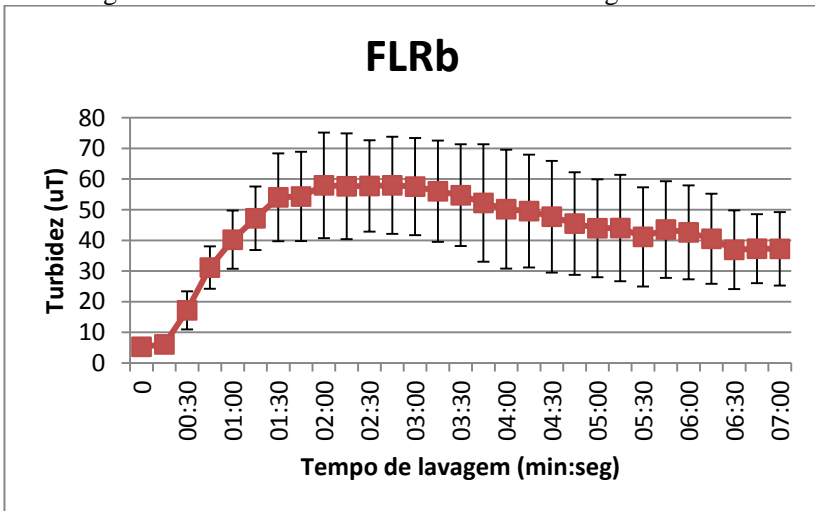


Figura 20 - Turbidez média durante a retrolavagem no FLRb



O gráfico referente ao FLR foi gerado com dados de 7 dias de retrolavagem (n = 7), já para o FLRb, utilizou-se dados de 8 dias (n = 8).

O aumento da turbidez é indicativa de que a matéria em suspensão está saindo, logo o filtro está sendo lavado corretamente. Embora a turbidez final não seja baixa, a limpeza ficou evidenciada pela perda de carga no início da próxima carreira de filtração, que atingia valores próximos de 6 cm.

No gráfico referente ao FLR, os 2 minutos iniciais no qual os valores de turbidez permanecem praticamente constante, corresponde à descarga do sobrenadante sendo assim, a retrolavagem não está de fato ocorrendo.

8. Conclusões e recomendações

Ao final desta pesquisa realizada para o trabalho de conclusão de curso pôde-se concluir:

- A água filtrada alcançou valores de turbidez abaixo do máximo estipulado pela portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde;
- O valor de cor aparente alcançado pode ser considerado satisfatório,
- A retrolavagem no sistema foi fácil de operar e demonstrou-se aplicável à filtração lenta;
- A expansão do meio filtrante de 30% e o tempo de lavagem de 8 minutos foram suficientes para a limpeza do meio filtrante;
- A retrolavagem com água bruta foi satisfatória em relação à limpeza do meio filtrante e qualidade da água filtrada, tornando ainda mais vantajoso seu uso em filtros lentos, uma vez que anula-se o desperdício de água filtrada.

Recomenda-se para pesquisas futuras:

- Adotar pré-tratamento para prolongar a carreira de filtração, a fim de avaliar o desenvolvimento da camada biológica;

- Avaliar se um tempo maior de lavagem implicaria em uma maior carreira de filtração;
- Utilizar um pré-tratamento e avaliar o desempenho dos sistemas.
- Monitorar o comportamento dos filtros com uma expansão durante a retrolavagem diferente de 30%

9. Referências bibliográficas

AMIRTHARAJAH, A. **Some theoretical and conceptual views of filtration.** Journal of the American Water Works Association, v.80, n.12, p. 36-46, 1988.

AGUILA, N. K. S.; Di BERNARDO, L. – **Organismos Responsáveis pelo Amadurecimento do Filtro Lento de Areia Precedida da Pré-Oxidação com Ozônio ou Peróxido de Hidrogênio.**2003, S.Carlos(SP). Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Joinville(SC): ABES, 2003. p. 300-301

AZEVEDO NETTO, J. M. A. - **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água** – Volume 2. 2ª edição - S. Paulo; CETESB, 1979

CASAN Companhia Catarinense de águas e saneamento - **Mananciais superficiais utilizados pela CASAN na grande Florianópolis.** Disponível em <www.casan.com.br>. Acessado em 12/10/2012.

CORAL, L. A. **Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração. 198 p.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Florianópolis – SC – Março, 2009.

COSTA, R. H. R. **Estudos comparativos da eficiência de filtros lentos de areia convencionais e de fluxo ascendente.** 1980. 1 v. Dissertação (Mestre) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1980.

DI BERNARDO, L; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico** (Brasil). Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 121p.

- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 783 p. 1 v.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 1565 p. 2 v.
- EMMENDOERFER, M. L. – **Filtração Lenta com retrolavagem para propriedades rurais de uso familiar**. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- FARIAS, N.J.V. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré- filtração em pedregulho no tratamento de águas contendo células tóxicas de Microcystis aeruginosa**. 2011, Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação TTARH.DM 137/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, DF, 123p.
- HUISMAN, L. **Slow sand filtration**. Belgica: World Health Organization, 1974. 120 p.
- IBGE. **Indicadores Sociais Municipais: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/indicadores_sociais_municipais/indicadores_sociais_municipais_t ab_pdf.shtm>. Acesso em: 15 jul. 2013.
- LOGSDON G. S. et al. – **Slow sand filtration for small water systems** Journal of Environmental Engineering and Science, Volume 1, Number 5, September 2002 , pp. 339-348(10). NRC Research Press, Canada, 2002.
- MARNOTO, M. J. E. **Expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos** – influência sobre a qualidade da água para abastecimento e a duração das carreiras. 2008. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e

Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MEDINA, L. R. **Uso de filtros lentos para el tratamiento de agua a nivel domiciliario.** Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Nova York, p. 44-49. out. 2000.

MICHIELIN, A. K. **Filtro Lento com Retrolavagem.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MICHELAN, D.C.G.S. **Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano.** Tese (Doutorado) Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Florianópolis – SC, 2010. 342p.

MONDARDO, R. I. **Influência da pré-oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, SC, 2004.

MURTHA, N.A.; HELLER L.; MARCELO, L. – **A Filtração Lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil.** 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. II – 085, pp. 1542 – 1556. ABES, 1999a.

MURTHA, N.A.; HELLER L. – **Avaliação da Eficiência da Filtração Lenta em Areia Segundo a Profundidade do Leito Filtrante.** 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. II – 043, pp. 1280 – 1289. ABES, 1999b.

MURTHA, N.A.; HELLER L. – **Avaliação da Influência de Parâmetros de Projeto e das Características da Água Bruta no Comportamento de Filtros Lentos de Areia.** Engenharia

Sanitária e Ambiental. Brasil, Vol. 8 – Nº 4. pp. 257 – 267,
Out/Dez 2003.

PATERNIANI, José E. S.; DA CONCEIÇÃO, Celso H. Z. **Eficiência da Pré-Filtração e Filtração Lenta no Tratamento de Água para Pequenas Comunidades** - Eng.ambient., Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p. 017-024, jan./dez., 2004.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, SC, 2010.

POERSCH, Fernanda Caldeira de Andrada. **SISTEMA DE FILTROS LENTOS DESCENDENTES COM RETROLAVAGEM SEM RESERVATÓRIO ELEVADO**. 2012. 89 f. Tcc (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2012.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETO, José M de. **Tratamento de água: Tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgar Blucher, 1991. 330 p.

SÁ, J. C. **Influência das características da camada filtrante e da taxa de filtração na eficiência de remoção de Microcystis aeruginosa e microcistina na filtração lenta em areia**. 2006. 190 f. Tese (Doutor) - Universidade De Brasília, Brasília, 2006

SÁNCHEZ, L. D.; et al. **Multi-Stage Filtration: Thematic Overview** Paper 15. Cali: Irc International Water And Sanitation Centre, 2006. 64 p.

SENS, M. L. Curso sobre filtração de água para um grupo de extensionistas rurais – UFSC – Florianópolis, SC 1992.

SIMONASSI, J. C. **Caracterização da Lagoa do Peri, através da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, como subsídio ao gerenciamento dos recursos hídricos da ilha de**

Santa Catarina, SC, Brasil. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SOUZA, Fernando Hymnô de. **Influência do diâmetro efetivo do meio filtrante em filtros lentos retrolaváveis.** 2012. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água.** 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

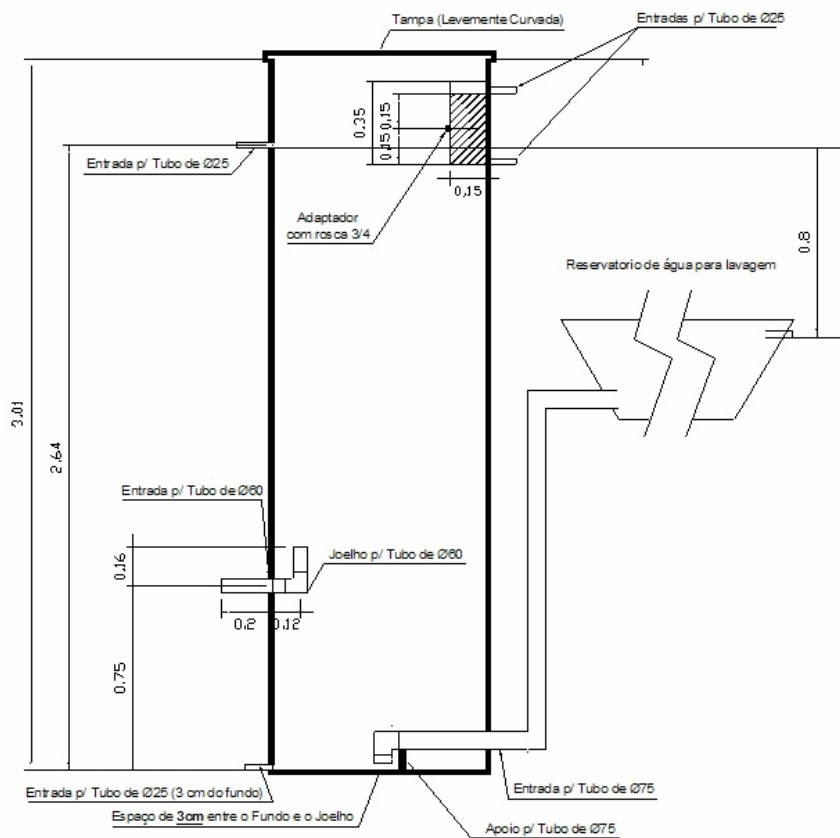
USEPA – United States Environmental Protection Agency. The history of drinking water treatment - EPA 816-F-00-006, Office of Water Washington, D.C., 2000.

VAN DIJK, J.C.; OOMEN, J.H.C.M. – Filtración Lenta en Arena para Abastecimiento Público de Água en Países en Desarrollo. Documento Técnico nº 11. WHO – International Reference Centre for Community Water Supply. CEPIS. Haya, 1978

WEBER-SHIRK, M. L.; DICK, R. I. **biological mechanisms in slow sand filters.** Journal Of The American Water Works Association, Nova York, p.72-83. Fev. 1997b

Apêndices

Apêndice 1 - Filtro Lento Retrolavável



Apêndice 2- Filtro Lento Retrolável com Água Bruta

