

**Universidade Federal De Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**EXPANSÃO DA AREIA DURANTE A RETROLAVAGEM DOS
FILTROS LENTOS – INFLUÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DA
ÁGUA PARA ABASTECIMENTO E A DURAÇÃO DAS
CARREIRAS**

Maria João Estêvão Marnoto

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
SETEMBRO/ 2008**

**Universidade Federal De Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**EXPANSÃO DA AREIA DURANTE A
RETROLAVAGEM DOS FILTROS LENTOS -
INFLUÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA
PARA ABASTECIMENTO E A DURAÇÃO DAS
CARREIRAS**

Maria João Estêvão Marnoto

**Trabalho apresentado à Universidade Federal
de Santa Catarina para conclusão de Curso de
Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental**

**Orientadores:
Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso (UFSC),
Prof. Dr^a Elizabeth d'Almeida Duarte (ISA)**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
SETEMBRO/2008**

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

**EXPANSÃO DA AREIA DURANTE A RETROLAVAGEM DOS
FILTROS LENTOS - INFLUÊNCIA SOBRE A QUALIDADE DA
ÁGUA PARA ABASTECIMENTO E A DURAÇÃO DAS
CARREIRAS**

MARIA JOÃO ESTÊVÃO MARNOTO

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

BANCA EXAMINADORA:

**Prof. Dr. Ramon Lucas Dalssaso
(Orientador)**

**Prof^a. Dr^a. Elizabeth Duarte
(Orientador)**

**Prof. Maurício Luís Sens
(Membro da Banca)**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
SETEMBRO/ 2008**

" Tudo surgiu da água. Tudo é mantido pela água."

(Goethe)

*Aos meus queridos avós, Maria
Emília e João, por todo o amor e
carinho ao longo da minha vida.
Apesar de não estarem mais entre
nós, estarão sempre presentes a cada
momento.*

AGRADECIMENTOS

Ao longo destes 6 meses de trabalho, muitas foram as pessoas que contribuíram para a sua realização. Umas por uns motivos, outras por outros, mas todas foram fundamentais.

Em especial agradeço:

- A minha mãe e ao meu irmão, por todo o apoio, carinho, esforços realizados e por todas as minhas conquistas. Apesar da distância estiveram sempre ao meu lado.
- À Prof. Elizabeth Duarte, pelas oportunidades que sempre me deu ao longo da vida académica e disponibilidade sempre demonstrada.
- Ao Prof. Ramon, primeiramente pela construção do sistema piloto, depois pela sua orientação, ajuda e preocupação constante para com o bom funcionamento deste trabalho, em todas as suas etapas.
- Ao Filipe, pelo companheirismo, pelas “sessões de debate de ideias” e apoios fundamentais para a conclusão deste trabalho. Por ser a minha força e principalmente pelo amor e carinho ao longo destes 5 anos.
- Aos novos amigos do Laboratório de Potabilização de Águas (LaPOÁ): Bianca, Bruno, Marcus, Denise, Zacarias, Luís, Renata, Alex e Fernanda pela amizade e carinho durante o período de realização deste trabalho. Obrigada pelos bons momentos e pelas inúmeras ajudas!
- À Bianca, minha companheira na Lagoa do Peri, pela ajuda, apoio e por tudo. Principalmente por ser a “minha irmã do coração” que eu descobri em terras brasileiras.
- À Lucília, do LARA, pela amizade e simpatia, assim como pela importante troca de ideias.
- A todos os meus amigos de Portugal, em especial à Anica e à Inês, pela amizade e apoio, ajudando a combater as saudades, e pelas palavras certas que sempre tiveram para ajudar a combater os momentos de maior desânimo e de dúvidas.
- A Universidade Federal de Santa Catarina, por me ter recebido tão cordialmente.
- À CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), à ETA da Lagoa do Peri e a todos os seus funcionários o apoio concedido.
- Aos membros do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), em especial à Arlete, pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas e pela simpatia constante.
- A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A filtração lenta é uma alternativa com imenso potencial de aplicabilidade em pequenas comunidades de países em desenvolvimento. Segundo várias fontes, a filtração lenta tem-se mostrado muito eficiente no tratamento de águas, com resultados muito positivos. O principal factor limitante da filtração lenta, além da qualidade da água bruta, é a limpeza dos filtros após o funcionamento, normalmente realizada através da raspagem da camada superior de areia – *schmutzdecke*, lavagem e recolocação no filtro. A retrolavagem é uma operação vantajosa e prática, pois apenas com a abertura de uma válvula, é possível inverter o fluxo da água, fornecendo uma vazão capaz de assegurar a expansão adequada do meio filtrante, possibilitando assim uma limpeza eficiente. Este estudo avalia a retrolavagem como método de limpeza dos filtros lentos, especificamente a influência da expansão de areia na qualidade da água produzida e na duração das carreiras. Os experimentos realizados demonstraram que a retrolavagem é bastante vantajosa, e que a variação da expansão, de 5 a 30%, não influencia os parâmetros de qualidade da água, fornecendo resultados bastante satisfatórios. Foi verificado ainda que, expansões mais baixas do leito filtrante, de 5% a 10%, são bastante promissoras, no que diz respeito quer à qualidade da água produzida, e quer à economia de água para lavagem dos filtros.

Palavras-chave: Filtro lento de areia, Qualidade da água, Retrolavagem, Tratamento de água

ABSTRACT

The slow filtration is an alternative with great potential for application in small communities in developing countries. According to several sources, the slow filtration has proved to be very effective in water treatment, with very positive results. The main limiting factor of the slow filtration, beyond the quality of water, is the cleaning of filters after the operation, usually done by scraping the top layer of sand - *schmutzdecke*, washing and re-filter. Backwashing operation is a profitable and practical, because only with the opening of a valve, it is possible to reverse the water flow, providing a flow capable of ensuring the proper expansion of the filter media, thus enabling an efficient cleaning. This study assesses the backwashing as a method of cleaning the slow filters, specifically the influence of the expansion of sand on quality of the produced water and in careers duration. The experiments carried out showed that the backwashing is very advantageous, and that the change in the expansion of 5 to 30%, does not affect the water quality parameters, providing very satisfactory results. It was also verified that lower expansions of the filter media of 5% to 10%, are very promising, either for the quality of water produced as for the saving of water for filters washing.

Key Words: Backwashing, Slow Sand Filter, Water Quality, Water Treatment

ÍNDICE

| | |
|--|-------------|
| RESUMO | <i>vii</i> |
| ABSTRACT | <i>viii</i> |
| ÍNDICE DE FIGURAS | <i>xi</i> |
| ÍNDICE DE TABELAS | <i>xii</i> |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS | <i>xiii</i> |
| 1. INTRODUÇÃO | <i>1</i> |
| 2. OBJETIVOS | <i>4</i> |
| 2.1. Objetivo Geral..... | <i>4</i> |
| 2.2. Objetivos específicos | <i>4</i> |
| 3. TEORIA DA FILTRAÇÃO | <i>5</i> |
| 3.1 – Ações físicas..... | <i>5</i> |
| 3.2 – Ações químicas | <i>6</i> |
| 3.3 – Ações biológicas..... | <i>6</i> |
| 3.4 – Ações bioquímicas | <i>6</i> |
| 4. FILTRAÇÃO LENTA | <i>7</i> |
| 4.1 – Constituintes do Filtro Lento..... | <i>7</i> |
| 4.1.1 – <i>Leito Filtrante</i> | <i>8</i> |
| 4.1.2 – <i>Água Sobrenadante ou Lâmina de Água sobre a Areia</i> | <i>10</i> |
| 4.1.3 – <i>Sistema de Drenagem</i> | <i>10</i> |
| 4.2 – Características Hidráulicas..... | <i>10</i> |
| 4.3 – Princípios do Processo de Purificação | <i>11</i> |
| 4.3.1 – <i>Camada Biológica – Schmutzdecke</i> | <i>11</i> |
| 4.3.2 – <i>Período de Amadurecimento</i> | <i>12</i> |
| 5. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE FILTROS LENTOS – RETROLAVAGEM | <i>13</i> |
| 5.1 – Princípios da Retrolavagem..... | <i>14</i> |
| 5.1.1 - <i>Perda de Carga ou Carga Hidráulica</i> | <i>15</i> |
| 5.1.2 – <i>Fluidificação e Expansão do Meio Filtrante</i> | <i>16</i> |
| 6. QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA | <i>19</i> |
| 6.1 – Matéria orgânica | <i>19</i> |
| 6.2 – Cor Verdadeira e Aparente | <i>20</i> |
| 6.3 – Turbidez e sólidos em suspensão | <i>20</i> |
| 6.4 – pH..... | <i>21</i> |
| 6.5 – Temperatura da Água..... | <i>21</i> |
| 6.6 – Algas e Agentes Patogênicos | <i>22</i> |
| 7. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO – QUALIDADE DO EFLUENTE FILTRADO | <i>24</i> |
| 8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA FILTRAÇÃO LENTA | <i>25</i> |

| | |
|---|------------------------------|
| 8.1 - Filtração Lenta – Vantagens Económicas | 26 |
| 9. METODOLOGIA | 27 |
| 9.1 – Descrição do local do experimento | 28 |
| 9.2 - Sistema Piloto..... | 29 |
| 9.2.1 - Controle da perda de carga..... | 32 |
| 9.2.2 - Controlo da expansão | 32 |
| 9.2.3 - Controlo da Vazão | 33 |
| 9.3 – Controle da Qualidade do Afluente e Efluente..... | 33 |
| 10. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 10.1 – Escolha da Areia como Meio Filtrante | 34 |
| 10.2 – Água de Estudo | 34 |
| 10.3 – Qualidade da Água Filtrada | 37 |
| 10.3.1 – Temperatura | 38 |
| 10.3.2 – Cor Verdadeira | 38 |
| 10.3.3 – Cor Aparente | 38 |
| 10.3.4 – Turbidez..... | 39 |
| 10.3.5 – Perda de Carga | Erro! Marcador não definido. |
| 10.3.6 – Produção Efetiva dos filtros | 42 |
| 10.3.7 – Coliformes Totais e Fecais | 43 |
| 10.3.8 – Fitoplâncton | 44 |
| 11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 46 |
| BIBLIOGRAFIA | 47 |
| ANEXOS | 50 |
| Apêndices | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 – Diferentes mecanismos de transporte | 5 |
| Figura 4.1 – Filtro Lento Convencional | 8 |
| Figura 5.1 – Variação da Perda de Carga com a profundidade do leito e o tempo | 17 |
| Figura 5.2 – Variação da posição dos grãos do meio filtrante durante a lavagem | 18 |
| Figura 5.3 – Perda de Carga, profundidade do leito e porosidade vs velocidade de lavagem | 18 |
| Figura 5.4 – Comportamento da Perda de Carga em Função da Velocidade Ascensional | 19 |
| Figura 6.1 – Guia para a selecção de sistema de tratamento de água, incorporando a Filtração lenta | 22 |
| Figura 9.1 – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP) na ETA, CASAN | 29 |
| Figura 9.2 – Localização geográfica do Parque Municipal da Lagoa do Peri e Localização do nosso experimento | 30 |
| Figura 9.3 – Esquema do filtro - piloto, evidenciando a operação de retrolavagem, e os Reservatórios para lavagem (RAL) e consumo (RAC) | 32 |
| Figura 9.4 – Esquema de captação da água bruta | 32 |
| Figura 9.5 – Sistema piloto, com os 6 filtros, com taxas de expansão de areia diferentes | 33 |
| Figura 9.6 – Detalhe do sistema piloto..... | 34 |
| Figura 10.1 – Variação da Turbidez da Água Bruta ao longo das três carreiras | 38 |
| Figura 10.2 – Variação da Cor Aparente da Água Bruta ao longo das três carreiras..... | 38 |
| Figura 10.3 – Variação da Cor Verdadeira da Água Bruta ao longo das três carreiras..... | 39 |
| Figura 10.4 – Variação do pH da Água Bruta ao longo das três carreiras..... | 39 |
| Figura 10.5 – Variação da Temperatura da Água Bruta ao longo das três carreiras | 40 |
| Figura 10.6 – Eficiência de remoção de cor aparente nas carreiras de filtração 1 e 2 | 42 |
| Figura 10.7 – Relação entre a turbidez e a cor aparente, valores médios das 3 carreiras | 43 |
| Figura 10.8 – Eficiência de remoção de turbidez nas Carreiras de Filtração 1, 2 e 3 | 43 |
| Figura 10.9 – Evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração 1..... | 44 |
| Figura 10.10 – Evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração 2 | 45 |
| Figura 10.11 – Evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração 3 | 45 |
| Figura 10.12 – Produção Efetiva dos Filtros | 48 |
| Figura 10.13 – Fotos da espécie <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , encontrada no manancial da Lagoa do Peri, com aumento de 400x | 49 |
| Figura 10.14 – Distribuição do fitoplâncton encontrado na água bruta, em células/ml | 49 |
| Figura 10.15 – Eficiência de remoção de fitoplâncton nas Carreiras de Filtração 1 e 2 | 50 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 4.1 – Características da areia usada num filtro lento | 10 |
| Tabela 6.1 – Qualidade da água recomendável para tratamento por filtração lenta | 20 |
| Tabela 6.2 – Efeito da temperatura na eficiência de filtros lentos | 23 |
| Tabela 7.1 – Eficiência da Filtração Lenta | 26 |
| Tabela 9.1 – Parâmetros de controle operacional dos filtros e de qualidade da água | 36 |
| Tabela 10.1 – Parâmetros físico-químicos e biológicos analisados | 40 |
| Tabela 10.2 – Produção Efetiva dos filtros | 47 |
| Tabela 10.3 – Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e Fecais | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A – Ausente

A. Bruta – Água Bruta

CASAN – Companhia de Águas Santa Catarinenses de Água e Saneamento

CD – Coeficiente de desuniformidade

Cél. – célula

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigénio

DQO – Demanda Química de Oxigénio

ETA – Estação de Tratamento de Águas

LALP – Laboratório de Águas da Lagoa do Peri

LAPOÁ – Laboratório de Potabilização de Águas

LIMA – Laboratório Integrado do Meio Ambiente

N.A – Não Avaliado

OMS – Organização Mundial da Saúde

RAC – reservatório de água de consumo

RAL – reservatório de água de lavagem

d_e – Diâmetro efectivo

d_{\min} e d_{\max} – Tamanhos mínimos e máximo dos grãos, respectivamente

H – perda de carga

L – profundidade do meio filtrante

t – tempo

V_{mf} – velocidade mínima de fluidificação

ψ - Coeficiente de esfericidade

uH – Unidade (Hazen) de cor

uT – Unidade de Turbidez

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente metade das áreas úmidas do mundo têm sido destruídas nos últimos cem anos, devido a transformações do meio ambiente promovidas pelos seres humanos. No mundo inteiro, o quadro é de escassez e mau uso da água. Segundo informações da Organização Mundial da Saúde (OMS), a água já é escassa para um bilhão de habitantes do planeta. A escassez é causada pela combinação de crescimento populacional exagerado e inexistência de reservas naturais.

Além da quantidade, a qualidade da água também é uma questão bastante preocupante. A poluição do meio aquático pode causar alterações das características físicas (turbidez, cor, número e tamanho de partículas, temperatura, condutividade e viscosidade, ...); químicas (DBO, pH, toxicidade...) ou biológicas (microrganismos em geral e espécies de fitoplâncton e zooplâncton). A má qualidade de água consumida é a maior responsável pelas doenças endêmicas nos países em desenvolvimento, como por exemplo, cólera, febre tifóide, salmoneloses, disenteria bacilar, viroses, hepatite, entre outras.

O risco de ocorrência de surtos de doenças de veiculação hídrica no meio rural é alto, principalmente em função da possibilidade de contaminação bacteriana, como é o caso de contaminação com *E. coli* e *Salmonella*, pois as águas muitas vezes são captadas em poços, inadequadamente vedados e próximos a fontes de contaminação, como fossas e áreas de pastagem.

Na região do semi-árido do Brasil, a população de algumas comunidades rurais, devido à escassez, é obrigada a percorrer grandes distâncias para a obtenção de água, que na maioria das vezes é de péssima qualidade e de turbidez muito elevada.

A água consumida pelo ser humano deve obedecer a critérios de qualidade definidos por normas nacionais e internacionais. A obediência a esses critérios determina que a seleção da tecnologia de tratamento a ser adotada considere, além da qualidade da água a ser tratada, a própria característica da comunidade a ser beneficiada. Pois para muitas comunidades rurais e em países em desenvolvimento, não há disponibilidade de recursos financeiros para construir estações de tratamento sofisticadas, assim é necessário desenvolver tecnologias apropriadas à realidade em questão, e viáveis economicamente. A água utilizada com fonte de suprimento dessas comunidades, em geral tem uma elevada turbidez, contendo material sólido em suspensão, bactérias e outros microrganismos, como as algas. É necessário que se remova a maior quantidade possível desses materiais antes de usá-la para consumo. Normalmente, isso é obtido em sistemas de tratamento que operam com mão-de-obra qualificada e produtos químicos, como o sulfato de alumínio, que às vezes não estão disponíveis a um preço razoável para essas populações.

A filtração lenta surge assim como uma técnica econômica e viável para estas comunidades. Apesar de haver registros hindus de técnicas de tratamento de água datados de 4.000 a.C., é largamente reconhecido que os últimos dois séculos foram os que determinaram os mais significativos avanços nesta área (Hall e Dietrich, 2000 *apud* Murtha e Heller, 2003). A preocupação original com aspectos estéticos como indicadores da qualidade da água foi respondida, no início do século XIX, com avanços nas técnicas de filtração que resultaram no surgimento da filtração lenta.

A filtração lenta em areia, estabelecida a partir da analogia com a percolação natural das águas através do solo, originou-se na Grã-Bretanha, sendo que os primeiros filtros possuíam leitos de pedras porosas, e eram para uso doméstico. O primeiro filtro de areia construído foi em Paisley (Escócia), em 1804, por John Gibbs. Mas foi apenas em 1828 que os filtros de areia foram usados para o abastecimento público de Londres. Estes filtros tinham apenas como objectivo a redução da turbidez pelos mecanismos físicos de retenção das partículas (Costa, 1980 e Hespanhol, 1969 *apud* Emmendoerfer, 2006).

A eficiência da filtração lenta na remoção de bactérias foi comprovada em 1892 nas cidades de Hamburgo e Altona na Alemanha, que captavam águas do rio Elba. Em Hamburgo o tratamento consistia apenas de sedimentação, enquanto que em Altona possuía filtros lentos de areia. Com a contaminação do rio Elba, houve uma epidemia de cólera causando a morte de 7582 pessoas em Hamburgo e, em Altona somente 328 pessoas morreram, sendo que a maioria dos casos de deu por contacto (Huisman, 1982 *apud* Emmendoerfer, 2006).

Por ser um processo de purificação extremamente simples e eficiente, difundiu-se muito rapidamente pela Europa e América. Entretanto, sua expansão foi freada pelo desenvolvimento de outras técnicas de tratamento e pela deterioração da qualidade da água dos mananciais, já que tem a sua aplicabilidade limitada pelas características físico-químicas.

Segundo Paterniani & Roston (2003), a filtração lenta destaca-se por ser um sistema que não requer o uso de coagulantes ou de outro produto químico, é de simples construção, operação e manutenção. Não requer mão-de-obra qualificada para sua operação, produz águas com características menos corrosivas e apresenta custos geralmente acessíveis a pequenas comunidades, principalmente de países em desenvolvimento. Além de ser um dos processos de tratamento de águas de abastecimento que produz menos quantidade de lodo e esse lodo pode ser utilizado na agricultura e na piscicultura.

Segundo Murtha *et al.* (2003), no processo de filtração lenta, a água passa lentamente pelas camadas de areia. Para o filtro ter um bom funcionamento, não pode haver mudanças repentinas na vazão e a água não pode estar com uma turbidez muito alta, ou o filtro irá rapidamente começar a entupir.

Apesar dos avanços tecnológicos mencionados, a filtração lenta, na atualidade, é geralmente precedida de unidades de pré-tratamento (pré-filtração dinâmica e pré-filtração com escoamento ascendente ou horizontal, utilizando pedregulho como material filtrante), configurando a tecnologia conhecida como filtração em múltiplas etapas (FiME) (Di Bernardo, *et al.*, 2005).

O principal fator limitante da filtração lenta é a limpeza dos filtros após o funcionamento, normalmente realizada através da raspagem da camada superior de areia (aproximadamente 5cm), lavagem e recolocação (Paterniani *et al.*, 2003).

Com o objetivo de simplificar a limpeza dos filtros lentos, foi sugerido pela primeira vez em 1992, por Sens, um novo processo de limpeza dos filtros lentos aplicados a zonas rurais, a *retrolavagem* (Emmendoerfer, 2006).

Estes trabalhos, no entanto, apenas utilizaram uma única expansão. Como na limpeza tradicional, só é removida a camada superior do leito, acredita-se que expansões pequenas, sem a ocorrência de fluidificação do leito, podem produzir bons resultados.

O presente trabalho baseia-se na tecnologia de filtração lenta de escoamento descendente, visando avaliar a influência da expansão da areia durante a retrolavagem, sobre a qualidade da água produzida e a duração das carreiras de filtração.

Esta pesquisa ocorreu na cidade de Florianópolis, estado de Santa Catarina – Brasil, e foi realizada na estação de tratamento de águas da Companhia de Águas Santa Catarinenses de Água e Saneamento (CASAN) na Lagoa do Peri, no período de Março a Agosto de 2008.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar através de sistema piloto, a influência da expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos sobre a qualidade da água para abastecimento produzida pelos mesmos, e sobre a duração das carreiras de filtração.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade da água produzida pelos filtros lentos, em função da expansão da areia durante a retrolavagem dos mesmos;
- Avaliar o tempo de formação do *schmutzdecke* em função da expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos;
- Avaliar a duração da carreira de filtração em função da expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos.

3. TEORIA DA FILTRAÇÃO

Como ocorre à primeira vista, não é apenas a ação mecânica de coar que atua sobre a água que passa através dos leitos filtrantes de areia. Esta é apenas uma das partes do processo da filtração e o resultado final é consequência de uma série de fenômenos simultâneos que poderiam ser classificados como: ações físicas, químicas, biológicas e bioquímicas.

3.1 – Ações físicas

As Ações físicas (fig. 3.1) são descritas, segundo Azevedo Netto (1979), como:

- Ação mecânica de coar, que provoca a retenção das partículas maiores que ficam retidas nos interstícios existentes entre os grãos de areia.
- Difusão, que é diretamente proporcional à temperatura e inversamente proporcional ao diâmetro da partícula (Maldonado, 2004).
- Sedimentação, que se processa sobre a superfície da areia durante o tempo em que a água permanece sobre o leito filtrante.
- Adsorção
- Absorção

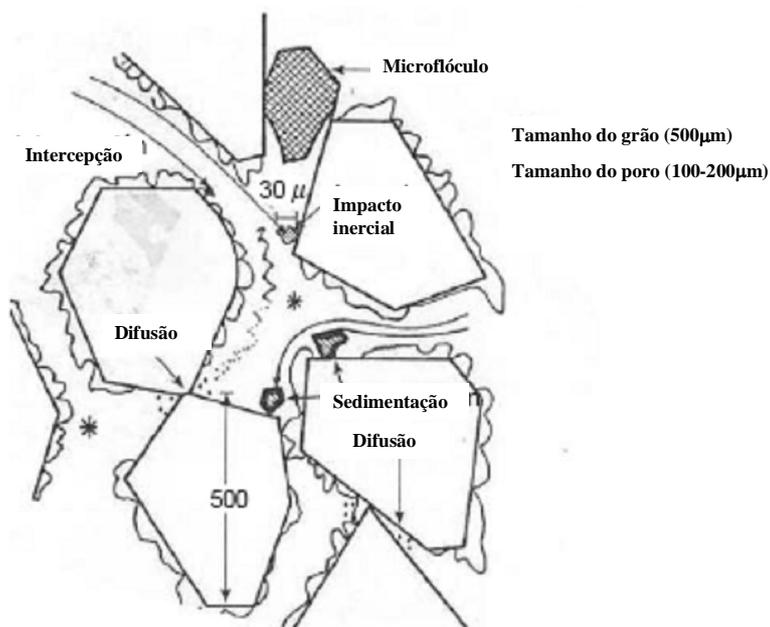


Figura 3.1 - Diferentes mecanismos de transporte (Maldonado, 2004)

3.2 – Ações químicas

- a) Oxidação da matéria orgânica presente na água, transformando os sólidos dissolvidos de natureza orgânica em compostos inofensivos.
- b) Ionização dos grãos de areia, mantendo-os carregados eletricamente.

3.3 – Ações biológicas

Estas são as ações mais importantes que se realizam num filtro lento de areia. São provocadas devido ao desenvolvimento de certas variedades de bactérias aeróbias na camada superficial do leito. Após este ter sido operado durante um período relativamente curto, forma-se um “filme” devido à ação vital dessas bactérias em toda a superfície do leito filtrante, imediatamente abaixo do qual, as partículas de areia ficam envolvidas por uma “geléia” de bactérias, semelhante em composição, ao filme superficial. A esta “geléia” chamamos *schmutzdecke* que é uma palavra composta por “schmutz”, palavra alemã que significa sujeira e “decke”, termo de origem escandinava que pode ser traduzido por película ou camada. As partículas muito finas de matéria suspensa, assim como as bactérias presentes, que facilmente passariam pelos interstícios formados pelos grãos de areia são retidas por essa geléia e utilizadas pelas bactérias e que as utilizam no seu ciclo vital. Os compostos orgânicos em solução também são absorvidos por essas bactérias e convertidos, através de seus processos digestivos, em simples compostos inorgânicos (Azevedo Netto, 1979).

Como a ação de um leito filtrante depende principalmente desse “filme” de bactérias nas suas camadas superiores, é evidente que um leito de areia limpa não poderá operar eficientemente, devendo a água filtrada ser desviada para o esgoto nos primeiros dias de operação.

3.4 – Ações bioquímicas

São ações de contacto que se verificam, dependendo da concentração de certas substâncias presentes e da tensão superficial dos “filmes”. Ocorrem ainda, através de ataques por enzimas ao material presente na água, provocando a remoção dos produtos de decomposição (Azevedo Netto, 1979).

4. FILTRAÇÃO LENTA

Filtração é um processo imprescindível para a produção contínua de água potável. O processo de filtração lenta consiste na passagem de uma solução por um meio poroso com a finalidade de remoção de sólidos suspensos ou precipitados químicos. A remoção de sólidos suspensos através da filtração envolve mecanismos de transporte e aderência como retenção (coagem), interceptação, difusão, adsorção e outros fenômenos. A eficiência do filtro não depende apenas destes fenômenos. As características físicas e químicas da água, a concentração dos sólidos em suspensão, as características do meio filtrante (granulometria, porosidade e profundidade), a taxa de aplicação e o método de operação do filtro são também fatores que contribuem para determinar a eficiência do processo de filtração.

Basicamente, os filtros são constituídos de um leito filtrante, formado por uma ou mais camadas de material granular, instalada(s) sobre um sistema drenante, entre ambos, é colocada a camada suporte.

É no *leito filtrante* que, de fato, ocorrerá a filtração propriamente dita da água. Na maioria dos filtros, o material granular é disposto de forma estratificada, ou seja, o tamanho dos grãos vai decrescendo de baixo para cima no interior do leito filtrante (os grãos menores ficam em cima e os grãos maiores ficam em baixo). Essa estratificação é necessária, pois, nesses filtros a lavagem deverá ser feita com velocidade ascensional suficiente para fluidificar o leito filtrante, arrastando os grãos menores mais para cima do que os grãos maiores.

Segundo, Di Bernardo (1999) a eficiência da filtração lenta é substancialmente afetado pela turbidez da água a ser tratada. Tal parâmetro de qualidade reflete a quantidade de partículas pequenas presentes na água, às quais muitos microrganismos se encontram aderidos. Para que a filtração lenta produza água filtrada com turbidez relativamente baixa e que não diminua a eficiência da desinfecção final, apresentando carreiras de duração razoável (geralmente superiores a um mês), muitos pesquisadores limitam em 10 uT a turbidez da água afluyente aos filtros lentos.

É interessante observar que na atualidade, a filtração lenta constitui a etapa final de tratamento em muitos países europeus. Com o desenvolvimento de diversos métodos de pré-tratamento, especialmente nos últimos 25 anos, a filtração lenta pode ser, em muitas situações, a solução apropriada para muitos países, como o Brasil, que possui regiões com acentuadas diferenças socioeconômicas (Di Bernardo, 1999).

4.1 – Constituintes do Filtro Lento

De acordo com Di Bernardo (1999) e como pode ser observado pela figura 4.1, um filtro lento é composto por uma estrutura de entrada contendo medidor de vazão, câmara filtrante, tubulação de descarga do sobrenadante aquando a necessidade de limpeza, dispositivo para permitir o enchimento da câmara com água filtrada no sentido ascendente (geralmente proveniente dos demais filtros em operação), extravasor, meio filtrante, camada suporte, sistema de drenagem,

tubulações, válvulas e acessórios de saída. Em geral, as saídas dos filtros lentos de uma instalação são conectados a um canal provido de vertedor para garantir o nível mínimo de água no interior da câmara filtrante, ou então têm-se caixas individuais, contendo vertedores com escoamento livre, interligadas por meio de tubulação que conduz o efluente global à câmara de desinfecção. Dependendo da carga hidráulica disponível para a retenção de impurezas, da espessura do meio filtrante e do sistema de drenagem, a altura total da caixa varia entre 2 e 3 m.

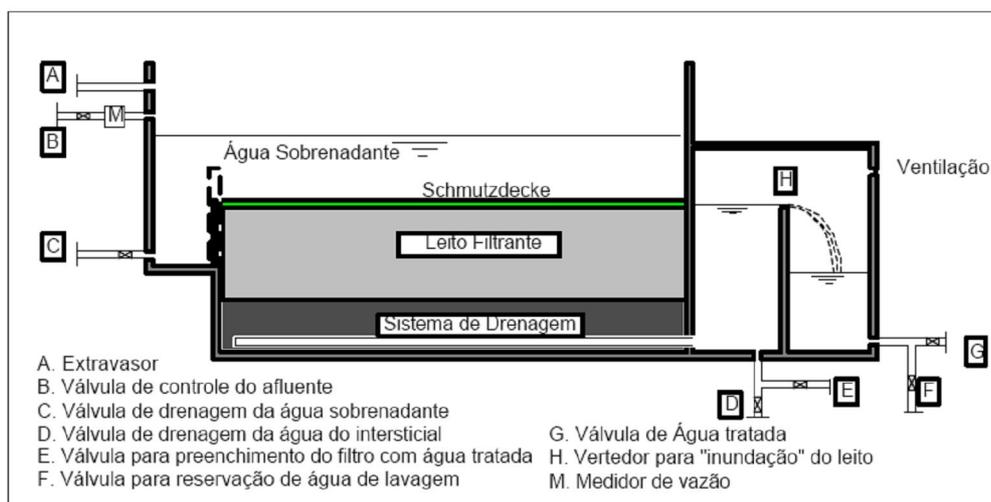


Figura 4.1 - Filtro Lento Convencional (Pyper & Logsdon, 1991 in Murtha *et al.*, 1999a)

Segundo o mesmo autor, a carga hidráulica disponível está relacionada com a taxa de filtração adotada. Porém independente desta, após certo tempo de operação é comum resultar uma taxa de crescimento de perda de carga muito acentuada (geralmente exponencial), de forma que, mesmo com carga hidráulica maior, a carreira de filtração não aumenta linearmente com o seu aumento.

4.1.1 – Leito Filtrante

Segundo Azevedo Netto (1979), o pedregulho usado no filtro lento, cuja função é prevenir a obstrução do sistema drenante pela penetração de areia fina, não pode ser friável ou facilmente decomponível sob a ação de cargas. Normalmente, são usados granitos, gnaisse, ou eventualmente, arenito altamente silicificado.

Já em relação à areia empregada como material filtrante, Azevedo Netto (1979), considera que deve ser composta quase que exclusivamente de quartzo ou silicatos de resistência elevada. Não deve conter carbonato de sódio ou de magnésio, excepto em quantidades muito pequenas. A presença de material calcário ou alumínio tende a aumentar a resistência de atrito da areia ao escoamento da água, e os sais de sódio ou magnésio tendem a torná-

la dura. Além disso, a areia deve ser isenta de argila, poeira, raízes e outras impurezas.

O conhecimento das características granulométricas dos materiais que compõem o meio filtrante é imprescindível para que se possa projetar um sistema de filtração. Os principais parâmetros de caracterização de materiais filtrantes são:

- Diâmetro efetivo (d_e);
- Coeficiente de desuniformidade (CD);
- Coeficiente de esfericidade (ψ);
- Tamanhos mínimos e máximo dos grãos (d_{\min} e d_{\max}).

Segundo Van Dijk *et al.* (1978), o meio filtrante caracteriza-se pelo seu diâmetro efetivo e pelo coeficiente de desuniformidade. Normalmente escolhe-se um diâmetro efetivo entre 0,15 e 0,35mm. Em relação ao coeficiente de desuniformidade, o mesmo autor afirma que, deve ser de preferência menor que 2, ainda que se possam aceitar valores até 5.

A tabela 4.1, resume algumas características, acima referidas, da areia usada para a construção de filtros lentos.

Tabela 4.1 – Características da areia usada num filtro lento

| Parâmetro | Valor Usual |
|--------------------------------|-------------|
| Espessura da camada (m) | 0,6 – 0,9 |
| Tamanho dos grãos (mm) | 0,104 – 1,0 |
| Tamanho Efetivo (mm) | 0,15 – 0,3 |
| Coeficiente de desuniformidade | 1,5 – 3 |
| Coeficiente de Esfericidade | 0,7 – 0,8 |
| Porosidade inicial | 0,38 – 0,4 |

Fonte: Di Bernardo, 1993

Di Bernardo e Rivera (1996) verificaram que a penetração de impurezas (espessura da camada biológica), resultava mais profunda com o aumento do coeficiente de desuniformidade e, como consequência, mais longas foram as carreiras de filtração para as taxas estudadas, a qualidade da água filtrada produzida não era significativamente alterada pela diferença entre os coeficientes de desuniformidade.

A remoção de sólidos e bactérias, tanto nos filtros de fluxo descendente quanto no ascendente, ocorre predominantemente nos 30cm iniciais do leito filtrante, sendo que, para a extensão restante, são observadas apenas variações pouco significativas. Esta remoção foi verificada para coliformes totais, *Escherichia coli*, turbidez e cor aparente (Murtha e Heller (1999b).

Ainda segundo os mesmos autores, a grande eficiência demonstrada nos 30cm iniciais do leito filtrante pode indicar a possibilidade de redução da sua espessura útil (mínima) para faixas de 40 a 60cm, que, conforme demonstrado, assegura uma eficiente redução dos indicadores básicos de qualidade da água.

4.1.2 – Água Sobrenadante ou Lâmina de Água sobre a Areia

A altura de água, cuja carga hidráulica permite a passagem através do leito filtrante até à saída do sistema de drenos, oscila normalmente ente 0,90m a 1,50m contados a partir da superfície da areia, com o filtro completo.

O máximo recomendado é de 1,20m porque acima desse valor torna-se muito difícil o controle da vazão dos filtros (Azevedo Netto, 1979).

4.1.3 – Sistema de Drenagem

Este sistema serve para dois propósitos, permite a coleta da água tratada e dá suporte ao leito filtrante, de modo a assegurar uma velocidade de filtração uniforme sobre toda a área do filtro (Van Dijk *et al.*, 1978).

4.2 – Características Hidráulicas

Segundo, Azevedo Netto (1979), os filtros lentos de areia, para uma operação eficiente, devem manter constante o nível de água (altura de água sobre a superfície da areia) assim como a taxa de filtração. Como a perda de carga através do filtro aumenta gradativamente deve-se dispor de elementos que possam compensá-la, mantendo a vazão do efluente constante.

As características hidráulicas que se considera que influenciam a eficiência da filtração são as seguintes:

a) Controle dos filtros - Para o funcionamento adequado dos filtros são exigidos dois controles:

- *Controle do nível de água;*
- *Controle da vazão.*

O controle do nível de água pode ser feito por uma válvula instalada na canalização de saída de água filtrada e acionada por um dispositivo de flutuador ou de detector de nível, instalado na superfície do filtro.

O controle da vazão pode ser realizado na entrada da água decantada para os filtros ou na saída da água filtrada. No primeiro caso são instalados vertedores ou orifícios para a entrada de água. Esses dispositivos fazem com que todos os filtros recebam praticamente a mesma vazão de água.

- b) **Taxa de filtração** – o emprego de taxas de filtração baixas, não assegura necessariamente a produção de água filtrada de melhor qualidade. As variações da taxa de filtração durante uma carreira de filtração são muitas vezes inevitáveis e podem afetar substancialmente a qualidade do efluente.

- c) **Carga hidráulica ou perda de carga disponível para filtração** – devido à sua importância, este aspecto será abordado mais adiante, no capítulo relativo à operação de retrolavagem dos filtros.

4.3 – Princípios do Processo de Purificação

4.3.1 – Camada Biológica – *Schmutzdecke*

No início da carreira de filtração, quando o meio filtrante está limpo, as partículas suspensas na água são retidas no meio granular através da sedimentação e pela ação física de coar. À medida que estas partículas começam a adsorver organismos vivos e mesmo matéria orgânica morta, ocorre o amadurecimento do meio filtrante, com a formação de uma camada castanha escura no topo da camada de areia, conhecida como *schmutzdecke*. É nela que ocorrem as principais reações bioquímicas oxidantes que irão auxiliar na clarificação e filtração da água bruta afluente. Com a acumulação das partículas suspensas, bem como das substâncias metabólicas produzidas pelos organismos, os interstícios do material filtrante vão sendo ocupados, provocando aumento da resistência à passagem da água.

De acordo com Aguila *et al.* (?) grande parte dos organismos que compõem o *schmutzdecke* estão localizados na região superficial do meio filtrante, mas à medida que o filtro vai amadurecendo, a flora bacteriana migra para regiões mais profundas, promovendo a purificação da água em toda coluna de areia. Segundo Neves (1987) *apud* Aguila *et al.* (?), a taxa de crescimento dos organismos no meio filtrante depende da quantidade de matéria suspensa carregada pela água, da taxa de filtração empregue e do tamanho efetivo da areia. Estudos realizados comprovam que nos filtros lentos de areia, tanto a biomembrana como o crescimento biológico sobre o leito do filtro, desempenham um importante papel sobre a eficácia do tratamento (Sánchez *et al.*, 1999).

A atividade bacteriana decresce com a profundidade, mas geralmente continua até cerca de 40cm (Varesche, 1989 *apud* Aguila *et al.* (?)) para taxas de filtração de 5m/d. A concentração de bactérias encontrada na água filtrada está diretamente relacionada ao desenvolvimento do *schmutzdecke* e às populações de organismos que nele vivem Aguila *et al.* (?).

O mesmo autor refere que devido ao escoamento da água através da areia ser laminar, sendo desviado somente pela colisão com os grãos, milhares de pequenas bacias de sedimentação são formadas, favorecendo a

deposição de bactérias e outros microrganismos. A intensa atividade bacteriana, bem como a liberação do conteúdo celular, promove a formação de uma película gelatinosa entre essas pequenas bacias, facilitando a retenção de partículas suspensas e, ao mesmo tempo, dificultando o escoamento da água.

4.3.2 – Período de Amadurecimento

Quando um filtro é colocado em operação pela primeira vez, os organismos responsáveis pela remoção de bactérias e turbidez ainda não estão presentes. As duas ou três primeiras semanas de operação do filtro são consideradas período de amadurecimento, e é quando o *schmutzdecke* está em desenvolvimento juntamente com o crescimento biológico dentro do leito de areia e na camada suporte.

A maturidade biológica do leito de areia indicará o grau de desenvolvimento microbiológico por toda sua profundidade. Esta condição não é medida, mas é função do número de semanas de operação do filtro para determinadas condições da água bruta. As condições que mais afetam o tempo necessário para a maturidade do leito são a disponibilidade de nutrientes e a temperatura. Com o aumento da temperatura, o período necessário para a maturação decresce apreciavelmente (Bellamy *et al.*, 1985 *apud* Aguila *et al.* (?)).

De acordo com Aguila *et al.* (?), após a maturação do leito de areia e a formação do *schmutzdecke*, o filtro lento apresenta uma variedade de microrganismos que, de acordo com suas características e função na cadeia biológica, participam dos mecanismos de purificação. A maturação do meio filtrante pode não ser efetiva quando a água bruta apresenta baixas concentrações de carbono orgânico dissolvido biodegradável e de bactérias. Maturação físico-química está relacionada com a remoção prévia de partículas e é menos efetiva quando a concentração de partículas na água bruta é muito baixa.

5. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE FILTROS LENTOS – RETROLAVAGEM

Quando uma unidade de filtração lenta estiver bem desenhada e construída, apenas necessita de operação e manutenção de rotina. À exceção de algumas análises físico-químicas e bacteriológicas às amostras de água, estas operações de rotina podem ser realizadas por mão-de-obra local.

A operação do filtro lento resume-se à limpeza periódica, por raspagem da superfície do leito, ao controle da vazão e à eventual cloração do efluente. Esta é uma forte razão para o incentivo ao seu emprego em localidades com baixa capacidade operacional e obviamente, onde as características da água bruta permitam.

Apesar de simples, esta limpeza é bastante trabalhosa e dependendo do tamanho do filtro, esta operação poderá durar um dia ou mais. Tendo em vista o tempo despendido para cada limpeza, os filtros são projetados com uma camada filtrante variando sua espessura de 90cm a 120cm, para propiciar a colocação em funcionamento do filtro sem a reposição do material retirado em cada limpeza (Azevedo Neto, 1979). Aquando o procedimento de limpeza, raspa-se 2 a 3cm da camada de areia, até a espessura do meio filtrante ficar com 50cm, então recoloca-se todo o material filtrante que deverá estar já limpo.

Devido a estas condições, foi sugerido pela primeira vez em 1992, por Sens, um novo processo de limpeza dos filtros lentos aplicados a zonas rurais, a *retrolavagem* (Emmendoerfer, 2006).

A retrolavagem é técnica utilizada para se fazer a limpeza do meio filtrante que compõe o filtro. É muito utilizada em filtros rápidos e é realizada no intervalo entre carreiras de filtração, onde se deve ter geralmente um reservatório elevado, contendo certo volume de água limpa para se fazer a limpeza do meio filtrante num determinado tempo de lavagem pré-determinado (Emmendoerfer, 2006).

Relativamente à manutenção do filtro lento, no que diz respeito à lavagem do mesmo, a retrolavagem surge assim como uma operação importante, que para além de poupar águas de lavagem, poupa também em tempo, o que resulta na diminuição do custo operacional. Os levantamentos de Cullen e Letterman (1985) *apud* Di Bernardo (1999) indicam que na limpeza manual do meio filtrante são gastas, em média, 5 horas de trabalho para cada 100m² de área de filtro, ao passo que para a recomposição do meio filtrante, envolvendo a recolocação de areia após várias limpezas (cerca de 1 vez a cada seis anos) são necessárias de 49 a 50 horas de trabalho para cada 100m² de filtro.

A retrolavagem é assim vantajosa e prática, pois apenas com a abertura de uma válvula, a água vai entrar em contra-corrente (por inversão de fluxo), com uma vazão capaz de assegurar uma expansão adequada para o meio filtrante, possibilitando assim uma limpeza eficiente.

Richter e Azevedo Netto (1991) referem que em relação à lavagem de filtros rápidos, há duas condições para se determinar a altura de lavar, existindo também, dois critérios para a escolha do filtro a ser lavado:

- Quando o nível de água atingir um certo limite, lava-se o filtro que estiver a operar há mais tempo;

- Se houver controle da turbidez no efluente (água tratada) de cada filtro, lava-se o filtro que apresentar pior resultado.

Estes critérios podem ser também aplicados a filtros lentos, na hora de efetuar a lavagem.

Quando a unidade de tratamento é composta somente por um filtro, que é o caso de uma propriedade rural, qualquer das hipóteses é válida para se determinar o momento de realizar a retrolavagem. A filtração lenta, em países da Europa, é muito empregada por ser uma técnica que requer baixa manutenção, uma vez que uma carreira de filtração dura geralmente entre 30 e 60 dias, podendo durar até 90 dias em determinadas situações em que a qualidade da água bruta já é boa (tem pouca turbidez e cor). O tipo de escoamento empregado neste caso é descendente, para que a camada biológica fique na parte superior do meio filtrante, facilitando a retrolavagem, que seria realizada em fluxo contrário à filtração, quer dizer, ascendente.

O volume do reservatório elevado para se realizar a retrolavagem é função do tempo que se pretende lavá-lo, sendo esse tempo adotado por muitos autores entre 6 e 10 minutos, para os filtros rápidos. Emmendoerfer (2006), afirma que para filtros lentos o tempo de lavagem pode ser reduzido para até 4 minutos, quando o leito tiver 40 cm de areia.

Num caso como noutro, a água utilizada na lavagem dos filtros é a mesma que foi filtrada, sem passar por tratamento de desinfecção e fluoretação.

Quanto à qualidade da água tratada, o padrão de potabilidade vigente no Brasil é estabelecido pela Portaria MS 518/2004. Essa portaria estabelece os limites máximos permitidos de dezenas de parâmetros de qualidade que precisam ser respeitados por toda água distribuída para o consumo humano no território brasileiro.

Poucas estações no Brasil estão preparadas para realizar os ensaios previstos na legislação, devendo a inspeção de alguns parâmetros, principalmente dos que exigem pessoal e equipamento mais sofisticado ficar a cargo de outros órgãos municipais, estaduais e federais. (Di Bernardo, *et al.*, 2005).

5.1 – Princípios da Retrolavagem

Os principais materiais constituintes de um leito filtrante (areia, antracito, entre outros) têm todos forma angular. Alguns têm uma esfericidade baixa (muito angulares), enquanto outros têm elevada esfericidade. A esfericidade, assim como o diâmetro efetivo e a densidade, influenciam o comportamento de fluidificação do meio. Influenciam também a perda de carga, a velocidade mínima de fluidificação, assim como a expansão do meio.

Todos estes parâmetros são bastante importantes para a retrolavagem dos filtros.

5.1.1 - Perda de Carga ou Carga Hidráulica

A perda de carga que se fixa para um determinado filtro, influencia significativamente a duração da carreira de filtração. Este parâmetro é obtido empiricamente, através de cálculos, e é geralmente determinado pelo projetista.

Segundo Di Bernardo (1999), a perda de carga disponível total é igual à soma da perda de carga inicial e a correspondente à retenção de impurezas, geralmente resultando em cerca de 1,0 a 1,5m.

Como a ação de coar é predominante na filtração lenta, a perda de carga devido à retenção de impurezas varia com o tempo de funcionamento, segundo a equação, definida segundo Di Bernardo (1993):

$$H_{ft} = H_{fo} e^{kt}$$

Em que:

H_{ft} : perda de carga num tempo t qualquer (m)

H_{fo} : perda de carga inicial (m)

k : coeficiente que depende da taxa de filtração, da qualidade da água do afluyente, do meio filtrante, etc. (s⁻¹)

t : tempo de funcionamento (s)

Ainda segundo o mesmo autor, no início da carreira de filtração, o meio filtrante encontra-se limpo e o nível de água no interior do filtro, acima da crista do vertedor de saída, é ditado pelo somatório das perdas de carga (meio filtrante, camada suporte, tubulações e acessórios e altura de água sobre o vertedor). Com o tempo, há aumento do nível de água no interior do filtro para compensar a perda de carga decorrente da retenção de impurezas, até que o nível máximo de água é atingido, quando o filtro deve ser retirado de operação para limpeza.

Na Figura 5.1, podemos observar a variação da perda de carga (*H*) com a profundidade do meio filtrante (*L*) com o tempo (*t*).

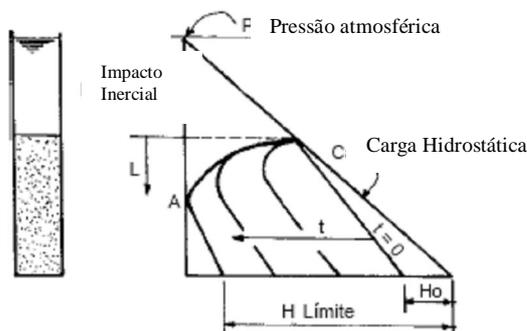


Figura 5.1 – Variação da Perda de Carga com a profundidade do leito e o tempo (Maldonado, 2004)

Em geral, a taxa de crescimento de perda de carga é relativamente baixa nos primeiros dias de operação, quando o meio está limpo. Porém, após um certo tempo, cresce de forma exponencial, devido ao aumento do material depositado na superfície da areia e inserido entre os seus grãos, causando o final da carreira de filtração rapidamente.

Como se pode perceber, a carga hidráulica disponível a ser provida está intimamente relacionada à taxa de filtração, porém independente desta, depois de um certo tempo de operação, a taxa de crescimento de perda de carga torna-se muito acentuada, de modo que, mesmo com carga hidráulica maior, a duração de carreira de filtração não aumenta linearmente com o seu aumento.

Também as características do meio filtrante influenciam a taxa de filtração e a carga hidráulica a ser provida para a retenção de impurezas (Di Bernardo, 1993).

5.1.2 – Fluidificação e Expansão do Meio Filtrante

▪ Fluidificação de meios granulares

Durante a filtração, meio filtrante retém material até ficar colmatado, o que obriga à sua limpeza periódica. Assim, quando se processa a retrolavagem dos filtros, é introduzido um fluxo ascendente que ao passar por entre as partículas vai produzir uma força contrária ao peso das próprias partículas, o que vai produzir uma reorganização destas de forma a apresentarem a menor resistência à passagem do fluxo (fig. 5.2).

Segundo Maldonado (2004) quando a velocidade de lavagem é baixa, o leito não se expande e a sua porosidade não sofre alteração. No entanto, à medida que se vai aumentando essa velocidade, as forças de fricção vão aumentando até superar o próprio peso das partículas, momento em que estas ficam suspensas livremente no líquido.

O mesmo autor afirma que se aumentar mais a velocidade de lavagem, a altura do meio filtrante aumentará proporcionalmente à velocidade do fluido, como se verifica na figura 5.3, e a porosidade crescerá de forma igual para deixar passar esta vazão, conservando, no entanto, a velocidade intersticial e a resistência à passagem de água aproximadamente iguais.

Por este motivo, apenas quando o leito não está expandido a perda de carga é uma função linear da velocidade do fluxo ascendente, no entanto, quando este se fluidifica, a perda de carga alcança o seu valor máximo.

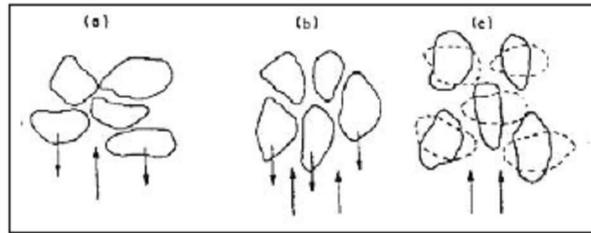


Figura 5.2 – Variação da posição dos grãos do meio filtrante durante a lavagem. (Maldonado, 2004)

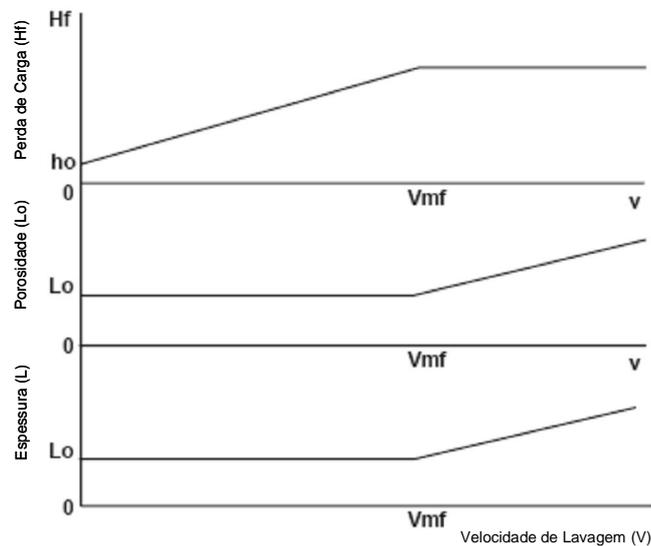


Figura 5.3 – Perda de Carga, profundidade do leito e porosidade vs velocidade de lavagem (Maldonado, 2004)

Segundo Cleasby e Fan (1981), a fluidificação pode ser descrita como o fluxo ascendente de um fluido (gás ou líquido) através de um leito granular, à velocidade suficiente para suspender os grãos no fluido.

Assim, os mesmos autores definem a velocidade mínima de fluidificação (V_{mf}) como a velocidade superficial do fluido requerida para o início da fluidificação. Pode ser definida como o ponto B na figura 5.4, para um meio idealmente fluidificado, composto por partículas esféricas de tamanho único. Segundo Dalsasso (2005) a partir do ponto C, a perda de carga permanece praticamente constante, independentemente do aumento da velocidade ascensional, já que o meio está totalmente fluidificado.

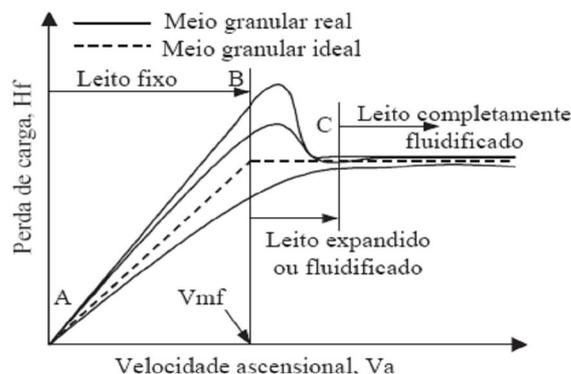


Figura 5.4 – Comportamento da Perda de Carga em Função da Velocidade Ascensional (Dalsasso, 2005)

Segundo Michelin (2002), foi construído na Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil) o primeiro sistema piloto de filtração lenta com retrolavagem. Cujo objetivo era estudar especificamente as condições hidráulicas para a fluidificação do material filtrante limpo. Os resultados obtidos foram bons, mostrando que mediante a abertura de apenas uma válvula, acontece a fluidificação do material filtrante.

▪ Expansão de meios granulares

Em geral, para uma lavagem com água em sentido ascensional, a velocidade varia em média entre 0,9 e 1,3 m/min. Segundo Emmendoerfer (2006), para uma areia com diâmetro efetivo entre 0,15mm – 0,22mm, basta uma velocidade ascensional da água de 0,34 m/min. O que é bastante positivo pois as baixas velocidades para a expansão da areia, indicam um menor consumo de água para a lavagem dos filtros.

A expansão total de um leito filtrante determina-se com base na curva granulométrica e no cálculo da porosidade das diferentes sub-camadas expandidas para uma determinada velocidade de lavagem, conforme o modelo proposto por Dharmarajah e Cleasby *apud* Maldonado, 2004.

A perda de carga total num meio filtrante expandido é igual à soma da perda de carga de cada material que o compõe, no caso de se ter meios filtrantes múltiplos.

6. QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA

Não há um consenso no meio técnico quanto aos limites de aplicabilidade da filtração lenta e suas variantes, em função da qualidade da água bruta.

Os valores recomendados para uma água a usar em filtração lenta, são os que constam na tabela 6.1. Para aplicar a filtração lenta a águas de inferior qualidade à recomendada na mesma tabela, é necessária a adoção de sistemas de pré-tratamento que permitam condicionar a qualidade da água bruta às limitações das unidades de filtração lenta.

Tabela 6.1 – Qualidade da água recomendável para tratamento por filtração lenta

| Características da água | Valores máximos recomendáveis (Di Bernardo, 1993) |
|----------------------------------|---|
| Turbidez (uT) | 10 |
| Cor verdadeira (uC) | 5 |
| Ferro (mg Fe/L) | 1 |
| Manganês (mg Mn/L) | 0,2 |
| Algas | 250 UPA/ml |
| Coliformes Totais (NMP/100ml) | 1000 |

As características da água bruta derivam principalmente de parâmetros como: matéria orgânica, cor aparente e verdadeira, turbidez, pH, temperatura, agentes patogênicos.

6.1 – Matéria orgânica

Geralmente a concentração de matéria orgânica presente no afluente e efluente de filtros lentos tem sido expressa em função da cor verdadeira (natural), da demanda química de oxigênio (DQO) e do teor de carbono orgânico total, dissolvido ou particulado.

Segundo Di Bernardo (1993), vários estudos realizados por pesquisadores da Universidade de New Hampshire sobre a remoção de matéria orgânica natural, medida através do carbono orgânico dissolvido e da absorvância em radiação ultravioleta no comprimento de onda de 254 nm, revelaram que a eficiência de remoção da matéria orgânica dependia da comunidade biótica e da biomassa presente no *schmutzdecke*. Estes pesquisadores concluíram que a eficiência de remoção da matéria orgânica ronda os 13 – 27% e de 12 – 43% durante o inverno e Outono,

respectivamente. O que está de acordo com Huisman (1977) *apud* Di Bernardo (1993), que considera que os filtros lentos não são eficientes na remoção de matéria orgânica natural e recomendando assim o uso de cloração para oxidação da matéria orgânica.

6.2 – Cor Verdadeira e Aparente

A cor verdadeira está relacionada com a presença de substâncias dissolvidas ou coloidais na água, particularmente substâncias húmicas, que não são passíveis de separação da água através de processos unicamente físicos.

A presença, em quantidades significativas, de sólidos em suspensão e turbidez (argila e limo) na água afluyente nos filtros lentos, pode levar a problemas operacionais e da qualidade da água filtrada. Além disso observa-se a rápida obstrução dos vazios intergranulares das camadas superiores do meio filtrante e a redução da duração da carreira de filtração, o que implica limpezas mais freqüentes. O que, por sua vez, tem como consequência o aumento do custo de operação e manutenção, e também, a diminuição na qualidade da água filtrada, por não se desenvolver adequadamente o “*schmutzdecke*”.

6.3 – Turbidez e sólidos em suspensão

A turbidez é um parâmetro muito usado para determinar a qualidade da água bruta e filtrada. É o fator que nos indica se a água requer ou não pré-tratamento ou se pelo contrário, basta apenas filtração lenta convencional.

Geralmente existe uma relação entre a turbidez e a concentração de sólidos suspensos, quanto maior a concentração de partículas maior a turbidez, mas esta relação não é igual para todas as águas.

A turbidez é considerada na qualidade da água filtrada por razões estéticas, por ser um parâmetro indicativo do grau de contaminação e por dificultar a desinfecção final.

Por outro lado, uma turbidez excessiva na água bruta, tal como o excesso de cor, contribui para uma rápida obstrução da superfície filtrante, logo será necessário limpezas mais freqüentes.

Di Bernardo(1993) recomenda para valores de turbidez entre 25 e 100 uT, a pré-filtração seguida da filtração lenta. Van Dijk e Oomen (1978) apresentam parâmetros físicos, biológicos e variáveis temporais para a seleção, conforme fluxograma da figura 6.1.

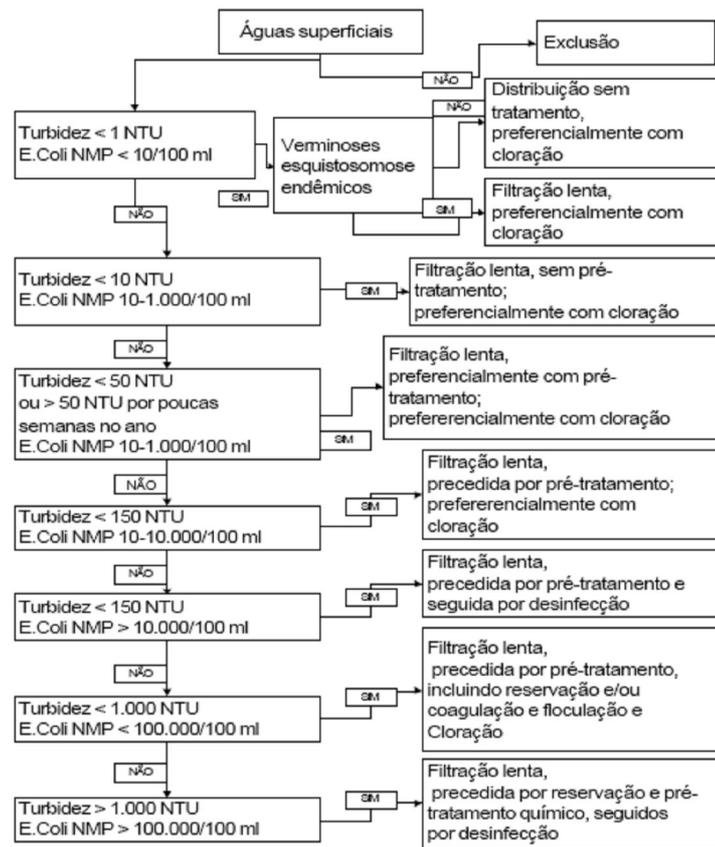


Figura 6.1 – Guia para a selecção de sistema de tratamento de água, incorporando a Filtração lenta (Van Dijk e Oomen (1978))

6. 4 – pH

O pH pode variar entre 6,5 e 8,0 numa água natural, sendo maior devido à atividade fotossintética de algas que, durante o seu metabolismo, decompõem os bicarbonatos em dióxido de carbono e hidróxidos. Valores superiores aos indicados atenuam a atividade bacteriana, e ainda podem provocar a precipitação de hidróxidos de cálcio e magnésio, sobre o leito filtrante, o que pode alterar a operação e eficiência da filtração.

6. 5 – Temperatura da Água

A temperatura da água influencia a redução de microrganismos, pois, baixas temperaturas afetam a remoção de coliformes fecais, baixando a eficiência de 99% para 50%. Já as temperaturas altas, aceleram as reações químicas pois reduzem a solubilidade dos gases, e acentua a sensação de sabores e odores.

A tabela 6.2 apresenta algumas evidências de que a temperatura ambiental é fator condicionante da eficiência do filtro lento em relação a microrganismos, o que parece óbvio pela preponderância de mecanismos biológicos no processo.

Tabela 6.2 – Efeito da temperatura na eficiência de filtros lentos

| Estudo | Parâmetro | Remoção |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| Poyter e Slade (1977) | Vírus | 17°C – 99,997% |
| Pyper (1985) | Cistos de Giardia | 9°C – 99,9% |
| Bellamy <i>et al.</i> (1985) | Coliformes fecais | 17°C – 97% |
| Bellamy <i>et al.</i> (1985) | Bactérias (contagem em placas padrão) | 17°C – 99,9% |
| Williams (1987) | Coliformes fecais | Verão – 99,8% |
| | | Inverno – 99,1% |

Haarhoff e Cleasby (1991) adaptado de Murtha *et al.* (1999a)

As temperaturas elevadas e a grande insolação predominante no Brasil favorecem a cinética das reações químicas e físico-químicas da purificação, além de acelerar a atividade metabólica dos organismos intervenientes no processo.

Segundo Murtha *et al.* (1999a), este aspecto é demonstrado por vários autores, em uma experiência, que comprova que a remoção de bactérias (contagem por placas) é cem vezes maior com temperatura igual a 27°C do que a 2°C; e uma remoção de coliformes de 97% a 17°C e de 87% a 5° C.

6. 6 – Algas e Agentes Patogênicos

As algas, juntamente com bactérias, protozoários e outras formas de vida, colonizam os filtros lentos, e têm um papel importante na atividade biológica que ocorre nesses filtros. Segundo Di Bernardo *et al.*, (1990), elevadas concentrações de algas exercem influência negativa no processo de filtração lenta, pois, como são continuamente removidas da água afluyente, causam a obstrução rápida do meio filtrante e contribuem para a formação de uma “*schmutzdecke*” mais impermeável, resultando no rápido crescimento da perda de carga e conseqüente diminuição da carreira de filtração. O autor observa também, que a eficiência de remoção de algas no filtro lento depende das características das algas (espécie, tamanho e mobilidade) e da concentração das mesmas na água bruta.

A presença de algas na água bruta ou filtrada pode provocar problemas de sabor e odor. As algas, e seus subprodutos dissolvidos, também são considerados potenciais precursores de tri-halometanos, e além disso, espécies de algas como as cianobactérias exibem propriedades tóxicas. Estudos realizados por Bourne *et al.* (2006) comprovam que os filtros lentos, após maturação, são bastante eficazes na remoção da *microcistina LR*, uma toxina produzida por cianobactérias.

A Portaria MS nº 518/2004, que dispõe sobre qualidade de água para consumo humano, contempla a problemática das cianobactérias, exigindo que sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000células/ml (2mm³/L de biovolume), será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta análise pode ser dispensada

quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

Em relação à remoção de agentes patogênicos, tais como bactérias, vírus, entre outros responsáveis pelas mais variadas doenças, a filtração lenta tem apresentado resultados muito positivos.

Os coliformes fecais representam um parâmetro fundamental para determinar a qualidade da água bruta e a eficiência do processo de filtração. Servem como indicadores de contaminação de organismos patogênicos, encontrando-se principalmente em águas contaminadas com fezes humanas e animais e estão muito associados a doenças de origem hídrica. Para este parâmetro a filtração lenta é muito eficaz, conforme afirmam Murtha et al. (2003), que em 90% dos casos verificaram a remoção total de *E.coli* no afluente.

7. EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO – QUALIDADE DO EFLUENTE FILTRADO

A filtração lenta apresenta uma grande eficiência na otimização de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água, o que a torna um processo que alia simplicidade operacional, boa eficiência e redução da utilização de produtos químicos para desinfecção.

Experimentos conduzidos por Cleasby *et al.* (1984) *apud* Murtha *et al.* (1999a) registraram valores inferiores a 1 uT, mesmo quando o afluente atingiu picos iguais a 10 e 20 uT. Nesses experimentos, a filtração lenta apresentou uma eficiência média na remoção de turbidez de 97,8%. Remoções percentuais superiores a 90% são frequentes na literatura.

A cor verdadeira não é bem removida pela filtração lenta (Huisman, 1982 *apud* Murtha *et al.*, 1999a), apresentando um patamar típico de remoção nos principais experimentos, em torno de 25% (Cleasby, 1991), podendo atingir o patamar de 39% (Bellamy, 1985 *apud* Murtha *et al.*, 1999a).

Uma vantagem significativa da filtração lenta é sua eficiência na remoção de microorganismos, muito superior à dos tratamentos com coagulação química. Segundo Murtha e Heller (2003) em estudos realizados em filtros piloto, observaram que em 90% dos resultados encontraram valores nulos de concentração de *E. coli* no efluente.

Foi também observado por Heller *et al.* (2006), em filtros lentos a remoção percentual média, muito elevada dos oocistos de *Cryptosporidium* sp (99,988-99,998%) e integral dos cistos de *Giardia* spp. Ainda segundo os mesmos autores, os esporos de bactérias anaeróbias e *Clostridium perfringens* foram os parâmetros que apresentaram os percentuais de remoção mais semelhantes aos dos protozoários. Tem sido dada especial atenção a estes organismos, pois tanto a *Giardia* spp. como o *Cryptosporidium* sp., são organismos patogênicos de transmissão associada à ingestão de água, muito resistentes à cloração. A cryptosporidíase tem como principal sintoma a diarreia, mas pode ser fatal em indivíduos com baixa resistência imunológica.

A filtração lenta tem sido assim, apontada como mais efetivo meio para a eliminação de cistos e oocistos do que o tratamento convencional.

Na tabela 7.1 podemos observar, resumidamente, a eficiência da filtração lenta para um conjunto de parâmetros.

Tabela 7.1 – Eficiência da Filtração Lenta

| Parâmetro | Efeito do Filtro Lento |
|-------------------|--|
| Cor | Redução de 30 – 100% |
| Turbidez | Redução para valores < 1UT |
| Coliformes Fecais | Redução 95 – 100% até 99 – 100% |
| Cercarias | Remoção virtual de cercarias de Schistosoma, cistos e ovos |
| Vírus | Remoção Virtual completa |
| Matéria Orgânica | Redução de 60 – 75% |
| Ferro e Manganês | Largamente removidos |
| Metais pesados | Redução de 30 – 95% |

Visscher, 1990

8. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA FILTRAÇÃO LENTA

Como verificado no capítulo anterior, a filtração lenta tem se mostrado um sistema eficaz de tratamento, desde que projetado de forma apropriada e aplicado a situações corretas. É um processo de tratamento que não requer a adoção de coagulante, trabalha com taxas de filtração baixas e utiliza meio filtrante de granulometria fina. O uso de baixas taxas de filtração leva a um maior tempo de detenção da água sobre o meio filtrante e no seu interior, o que favorece uma intensa atividade biológica no filtro lento e garante a produção de água com qualidade apropriada para uma desinfecção efetiva.

Uma das *principais vantagens* atribuídas ao filtro lento é a facilidade operacional, baixos custos de implantação e operação e grande eficiência na remoção de organismos patogênicos, tais como vírus e cistos de *Giardia*.

“Suas vantagens sobre a filtração rápida são as seguintes: evitam, geralmente, o emprego de produtos químicos; não necessitam de energia elétrica (exceto em casos de recalques); pode-se obter água de características menos corrosivas; os equipamentos e aparelhos empregados são mais simples. (Azevedo Netto, 1979)”

Segundo Murtha *et al.* (1999a), existe um consenso no meio técnico internacional de que a filtração lenta constitui uma potencial alternativa de aplicabilidade em pequenas comunidades de países em desenvolvimento. O fato de a filtração lenta se caracterizar como uma eficiente barreira microbiológica não significa que a desinfecção da água filtrada deva ser questionada ou, sob qualquer pretexto, abandonada como parte integrante do tratamento. É imprescindível a desinfecção contínua do efluente do filtro lento como barreira final de segurança (particularmente quando a água bruta apresenta níveis altos de contaminação fecal) e para garantir os residuais na rede de distribuição.

Outro aspecto interessante na filtração lenta é a ausência de resíduos tóxicos, como na filtração convencional. Murtha *et al.* (1999a), afirma que o lodo gerado pode ser utilizado na agricultura e na piscicultura.

As vantagens da filtração lenta podem diminuir drasticamente em algumas épocas do ano, quando piora a qualidade da água bruta, acarretando valores relativamente altos de turbidez, causando, portanto uma redução substancial na duração das carreiras de filtração, além do efluente produzido resultar com qualidade inferior.

Assim uma grande limitação da filtração lenta, são as características da água bruta, principalmente a concentração de sólidos, tornando a sua utilização restrita a águas que apresentam valores de cor verdadeira, turbidez e teor de sólidos suspensos relativamente baixos (Di Bernardo, 1993).

Relativamente à remoção de cor, Azevedo Netto (1979), afirma que a filtração lenta é pouco eficiente, reduzindo-a de 20 a 50% apenas.

Segundo Wegelin (1988) *apud* Di Bernardo (1999) nenhum processo unitário de tratamento pode melhorar as qualidades físico-químicas e bacteriológicas de uma água como o filtro lento, porém a sua utilização é limitada pela qualidade da água bruta afluente ao filtro.

Outra limitação importante atribuída à filtração lenta convencional (único tratamento precedendo a desinfecção), é que necessita de uma área considerável (Azevedo Netto, 1979).

Estas desvantagens são compensadas em pequenas localidades pelo baixo preço da terra e pela existência de mananciais relativamente preservados nestas regiões, geralmente distantes dos centros urbano-industriais, além da possibilidade de utilização de processos complementares no sistema de tratamento.

8.1 - Filtração Lenta – Vantagens Económicas

Na filtração lenta convencional, a inexistência de unidades de mistura rápida (adição de coagulante), floculação e sedimentação, comuns à maioria das instalações que envolvem a filtração rápida, resulta na concepção de um sistema de simples construção e operação. Este sistema dispensa o uso de equipamentos de controle sofisticados e não requer mão de obra especializada para a sua operação, além de apresentar um baixo consumo de energia.

Assim, ao filtro lento são atribuídos baixos custos de construção e manutenção. No entanto, convém ressaltar que os custos de implantação podem ser mais elevados em países desenvolvidos, devido a altos custos de mão de obra e de áreas, o que não ocorre nos países em desenvolvimento, onde além dos custos de mão de obra serem inferiores, ocorre a participação comunitária nas áreas rurais, podendo tornar os investimentos menores que de sistemas mais sofisticados de tratamento (Vaillant, 1982 *apud* Murtha *et al.*, 1999a).

Segundo Slezak e Sims (1984) *apud* Di Bernardo (1999), aproximadamente 2/3 das instalações de filtração lenta, nos EUA, eram operadas com mão-de-obra mínima (uma ou duas pessoas) geralmente sem alto grau de especialização, contribuindo para o baixo custo operacional.

Modificações efetuadas em uma unidade de tratamento convencional na periferia de Cali, Colômbia, transformando-a em uma unidade de filtração lenta, permitiram uma redução de cerca de 90% nos seus custos de operação e manutenção (Galvis e Visscher, 1986 *apud* Murtha *et al.*, 1999a).

Murtha *et al.* (1999a), no seu trabalho sobre filtração lenta como alternativa para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil, refere que os filtros lentos, além de financeiramente vantajosos, demandam gastos com água de lavagem que variam de 0,2 a 0,6% do total filtrado, muito inferiores aos gastos no tratamento convencional, que varia de 3 a 5% do volume filtrado.

O mesmo autor refere ainda que os baixos custos relacionados à construção, operação e manutenção do filtro lento, podem ser fundamentais para a viabilização de projetos sanitários que compreendam investimentos em abastecimento público de água potável em países em desenvolvimento.

A filtração lenta mostra-se assim uma alternativa muito vantajosa e fácil de aplicar em zonas rurais.

9. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi realizada em Florianópolis/ SC / Brasil, no período de Março a Agosto de 2008, no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP), localizado na estação de tratamento de águas da Companhia de Águas Santa Catarinenses de Água e Saneamento (CASAN) junto aquele manancial (Fig. 9.1).

Os ensaios foram realizados com uma *água bruta*, captada diretamente desse manancial, à qual apenas foi aplicada uma pré-filtração simples, caixa pré-filtro com uma peneira de bidin, de modo a remover a sujidade mais grosseira.

Os principais parâmetros de controle durante o ensaio foram: vazão, perda de carga nos filtros, expansão da areia, tempo e taxa de lavagem (velocidade). Para além destes parâmetros, foram ainda avaliados os dispositivos hidráulicos para o controle das vazões de alimentação e lavagem.



Figura 9.1 - Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (LALP) na ETA, CASAN

9.1 – Descrição do local do experimento

Conforme referenciado no início deste subcapítulo, a nossa água bruta foi proveniente da Lagoa do Peri. De acordo com várias informações recolhidas, a bacia hidrográfica da Lagoa do Peri está situada na parte sul da Ilha de Santa Catarina, com uma área de drenagem de aproximadamente 20,3 Km² (fig. 9.2). A lagoa é alimentada por dois rios: rio Cachoeira Grande e rio Ribeirão Grande/canal sangradouro que deságua próximo à praia da Armação.

A lagoa mantém contacto permanente com o mar, através de um canal de despejo (parte do curso do Rio Sangradouro que foi retificado). No entanto, não é afetada pelas oscilações de maré devido a sua altitude ser mais elevada que o nível do mar, comportando-se como uma lagoa suspensa. Isso facilitou a sua dessalinização, juntamente com o recebimento de fluxos fluviais e águas de escoamento superficial provenientes de precipitações pluviais (Rabelo, 2006).



Figura 9.2 - Localização geográfica do Parque Municipal da Lagoa do Peri e Localização do nosso experimento

Uma pesquisa feita pela fundação FLORAM-CECCA, publicada em 1987, caracteriza este manancial da seguinte forma:

- **Situação geográfica**
27°42' – 27°44'S
48°30' – 48°33'W
A cerca de 20 km do centro de Florianópolis, SC.
- **Capacidade**
21,2x10⁶ m³
- **Superfície da Lagoa**
5,2 km²
- **Profundidade média/máxima**
4,2m/11m
- **Elevação normal**
3m acima do nível do mar
- **Bioclima**
Subtropical

Em Setembro de 2000, o manancial Lagoa do Peri, começou a ser utilizado para abastecimento da região sul e leste da ilha de Santa Catarina, projeto da CASAN, que envolveu a construção de uma barragem de captação e a elevação do nível da lagoa em cerca de 0,50 m (retornando a lagoa a sua cota natural), prevendo o abastecimento inicial de 50.000 habitantes, com uma vazão de 200 L/s.

9.2 - Sistema Piloto

Para a realização dos ensaios da expansão foram construídos seis filtros piloto, construídos com tubos de PVC, com diâmetro interno de 0,097 m, conforme a figura 9.3.

Os filtros são constituídos por uma camada inicial de suporte, com espessura de 10 cm, em que 8 cm são constituídos por areia grosseira com diâmetro entre 1,68 – 3,2 mm; e a camada seguinte de 2cm constituída por areia fina cujo diâmetro é 1,4 – 1,68 mm. A camada filtrante seguinte tem uma espessura de 40 cm, com base nos estudos realizados por Emmendoerfer (2006), cujo diâmetro efetivo da areia é de 0,3 mm, e possui um coeficiente de desuniformidade inferior a 1,5.

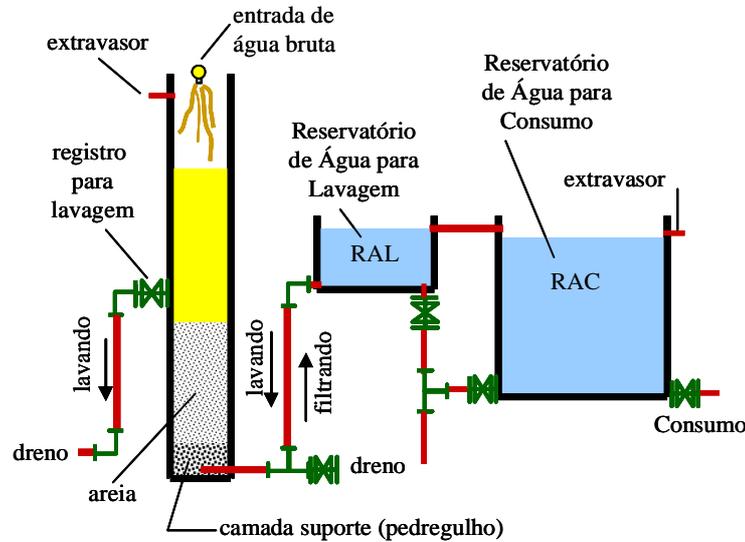


Figura 9.3 – Esquema do filtro-piloto, evidenciando a operação de retrolavagem, e os reservatórios para lavagem (RAL) e consumo (RAC)

Os ensaios foram realizados com uma *água bruta* (*A.Bruta.*), captada do referido manancial através de bombeamento, encaminhada por um sistema de tubulações até chegar ao piloto (fig. 9.4), a uma calha receptora com seis orifícios (fig. 9.7 – a), sobre os quais era mantido um nível de água constante.

Cada filtro foi alimentado a uma taxa constante de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Antes da calha receptora foi instalado um pré-filtro de bidin (Fig.9.5), de modo a reter as impurezas mais grosseiras, evitando o entupimento das saídas.

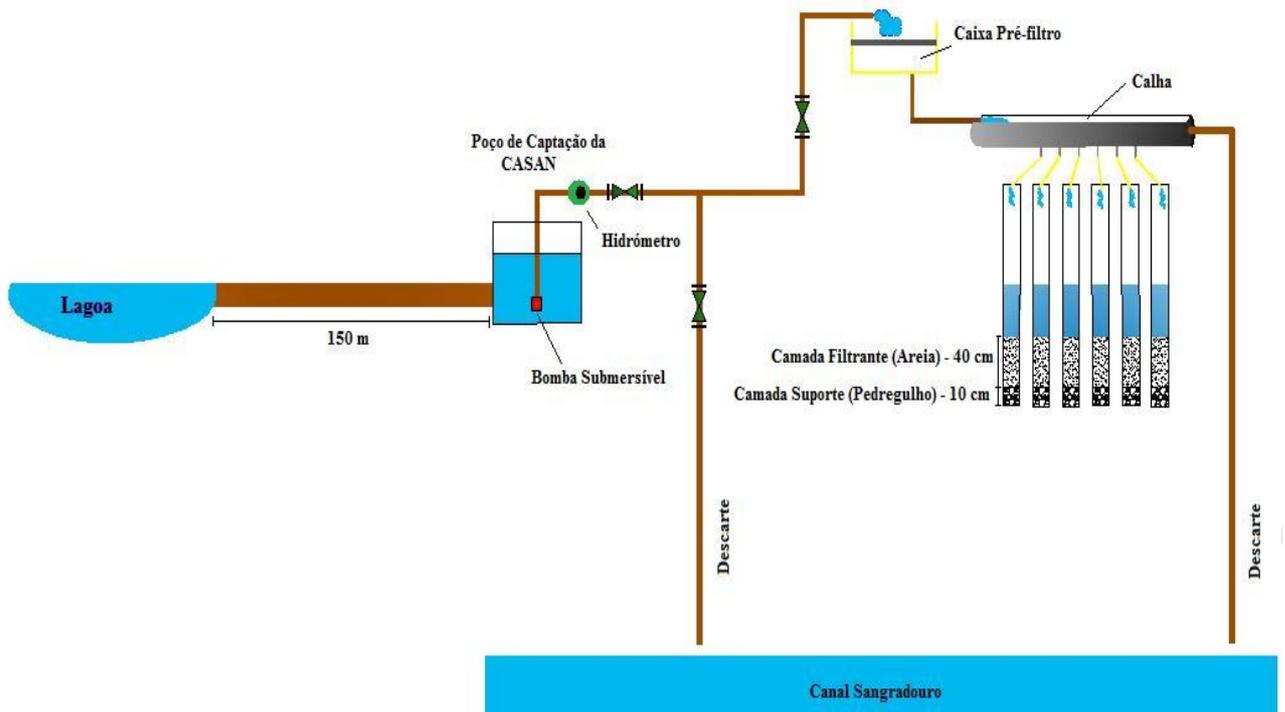


Figura 9.4 – Esquema de captação da água bruta

A água produzida pelos filtros era encaminhada para um reservatório de água de lavagem (RAL), de PVC, com capacidade de 17,5 L, comum a todos os filtros. O volume excedente seguia para um segundo reservatório, destinado ao consumo (RAC), conforme mostra a Figura 9.6.

Os filtros eram limpos por retrolavagem sempre que a perda de carga no meio filtrante atingia aproximadamente 75 cm. Cada um deles era lavado durante 2 minutos, usando a água filtrada do reservatório (RAL), com uma taxa de expansão diferente: 5%, 10%, 15%, 20%; 25% e 30%, a fim de avaliar a influência deste parâmetro de projeto na qualidade da água filtrada produzida. Estas taxas são controladas por um sistema de dois registros na tubulação de admissão de água para lavagem. Um deles permanece com abertura regulada e o outro é utilizado para abertura e fechamento da tubulação referida.



Figura 9.5 – Sistema piloto, com os 6 filtros, com taxas de expansão de areia diferentes.

a) Detalhe da calha receptora e do mecanismo de controlo da vazão.

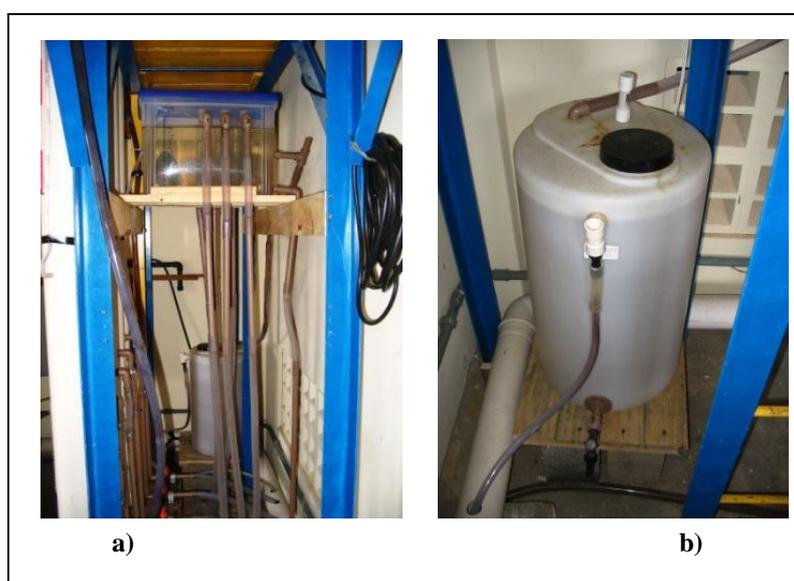


Figura 9.6 – Detalhe do sistema piloto

a) Reservatório de água de lavagem (RAL)
b) Reservatório de água de lavagem (RAL)

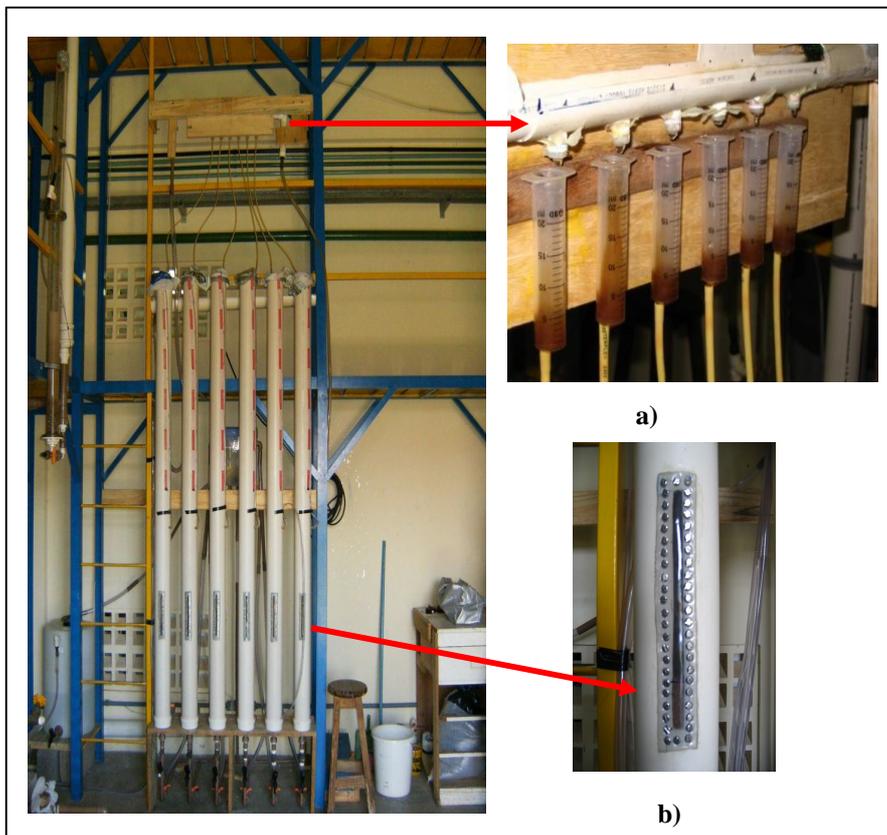


Figura 9.7 – Sistema piloto, com os 6 filtros, com taxas de expansão de areia diferentes.

- a) Detalhe da calha receptora e do mecanismo de controle da vazão.
- b) Detalhe do visor lateral dos filtros, onde se pode observar a expansão pretendida para cada um deles.

Todo o sistema piloto (filtros, câmara de nível constante e as restantes tubulações e calhas) era sustentado por uma estrutura de ferro e madeira.

9.2.1 - Controle da perda de carga

O controle da perda de carga foi feito através de piezômetros, feitos com mangueiras de diâmetro 6 mm, instalados na parede exterior de cada um dos filtros. De modo a ser feita uma leitura prática e imediata da perda de carga, foi colado ao lado de cada piezômetro uma fita métrica.

9.2.2 - Controle da expansão

Cada filtro possui uma janela acrílica na sua parede externa (fig. 9.7 – b), de modo a permitir facilmente observar/controlar a expansão pretendida da areia durante a retrolavagem.

9.2.3 - Controle da Vazão

O controle de vazão foi feito através de um sistema de orifícios de nível constante (fig. 9.7 – a). Para a verificação das vazões, foi utilizado um cronômetro e seringas de 20ml, e foi medido o tempo que demorava a atingir esse volume.

Durante o experimento, e devido à dificuldade de ajustar corretamente a vazão de entrada de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, foi dada uma tolerância de 5%, devido à dificuldade de controle de uma vazão tão pequena. Foram feitas ainda algumas correções aos orifícios, abrindo-os ou fechando-os conforme necessário, de modo a obter uma vazão prática bastante aproximada da vazão teórica.

9.3 – Controle da Qualidade do Afluente e Efluente

Os parâmetros de controle da qualidade da água bruta e filtrada, assim como a frequência das análises e os métodos empregues, estão demonstrados na tabela 9.1.

Estas análises foram realizadas no LALP e ainda no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA), localizado na UFSC.

Os modelos das tabelas usadas para a caracterização das águas (bruta e filtrada), assim como as tabelas de acompanhamento dos filtros, encontram-se nos Anexos 2 e 3, respectivamente.

Tabela 9.1: Parâmetros de controle operacional dos filtros e de qualidade da água

| Parâmetro | Frequência | Método de determinação / Equipamento |
|---|---------------|---|
| Cor aparente (uH) | a cada 2 dias | Espectrofotômetro HACH DR2010 (leitura a 455 nm) |
| Cor verdadeira (uH) | a cada 2 dias | Filtração em membrana de acetato de celulose $0,45 \mu\text{m}$ / Espectrofotômetro HACH DR 2010 (leitura a 455 nm) |
| Temperatura (°C) | a cada 2 dias | Termômetro de mercúrio |
| Turbidez (uT) | a cada 2 dias | Neofelométrico / Turbidímetro HACH 2100P |
| Absorbância UV 254 nm | a cada ensaio | Espectrofotômetro HACH DR4000 |
| Alcalinidade (mg/L CaCO_3) | a cada ensaio | Volumétrico / Titulador digital / Reagentes HACH |
| Dureza total (mg/L CaCO_3), Ferro total (mg/L Fe), Cloretos (mg/L Cl) | a cada ensaio | Volumétrico / Titulador digital / Reagentes HACH |
| Coliformes totais e fecais | a cada ensaio | Colilert |
| Fitoplâncton | a cada ensaio | Microscopia / Contagem em câmara Uthermol |
| Vazão de alimentação dos filtros | a cada 2 dias | Volumétrico |
| Perda de carga dos filtros | a cada 2 dias | Leitura dos piezômetros |

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

10.1 – Escolha da Areia como Meio Filtrante

Na filtração lenta, o tamanho dos grãos de areia usados, estão dentro de uma faixa compreendida entre 0,104 e 1,0 mm e tamanho efetivo de 0,15 a 0,35 mm. A areia utilizada tem um tamanho efetivo de 0,3mm, e coeficiente de desuniformidade inferior a 1,5, o que está de acordo com Di Bernardo (1993).

10.2 – Água de Estudo

Inicialmente a nossa água de estudo era composta por 80% proveniente de um poço localizado próximo à margem da Lagoa do Peri e 20% de água captada diretamente desse manancial, sendo assim uma água de mistura. Esta água apresentava já parâmetros de turbidez e cor bastante baixos, o que traria problemas futuros a nível de duração das carreiras, que seriam longas. Assim sendo, optou-se apenas por se utilizar a água bruta, proveniente da Lagoa do Peri, que também apresenta características admissíveis de aplicação da filtração lenta, apesar de não serem as ideais. A água bruta apresenta um elevado teor de fitoplâncton o que prejudica o funcionamento do filtro lento em relação a alguns parâmetros.

Ao fim de alguns dias de funcionamento, pode observar-se o entupimento dos orifícios de nível constante, que alimentam cada um dos filtros, com sujidade proveniente da acumulação de limos e pequenas algas, o que trás grandes problemas no controlo da vazão. A solução encontrada para resolver este problema foi aplicar um pré-filtro com uma peneira de bidin, que alimenta os referidos orifícios. A medida solucionou relativamente o problema, pois a dificuldade no controle da vazão foi constante durante todo o trabalho.

Os resultados da monitorização dos parâmetros de controle da água bruta (turbidez, cor aparente e verdadeira, pH e temperatura) ao longo das três carreiras está evidenciado nas figuras 10.1, 10.2, 10.3, 10.4 e 10.5, que representam a distribuição dos referidos valores.

A turbidez, não registrou uma variância muito grande ao longo dos ensaios, sendo que 75% do tempo encontrou-se acima da média (3,65 uT), registrando valores de 4,2 uT (fig. 10.1). Os valores médios de turbidez são bastante aceitáveis, e coincidentes com a bibliografia, pois Di Bernardo (1993), apresenta como valores máximos recomendáveis para filtração lenta, 10 uT.

A cor aparente em 75% do tempo apresentou valores de 54 uH (fig. 10.2), o que é um valor aceitável tendo em conta a turbidez desta água.

A cor verdadeira apresentou valores médios elevados, 11,58 uH (fig.10.3), os valores máximos recomendáveis, sugeridos por Di Bernardo (1993) para a filtração lenta, é de apenas 5 uT. Este valor elevado de cor verdadeira da água bruta deve-se à grande quantidade de microrganismos fitoplanctónicos, existentes no manancial da Lagoa do Peri.

O pH apresentou uma variância muito baixa (0,0999), com uma média de 6,87 (fig. 10.4). O que está de acordo com o referido pela bibliografia.

Relativamente às temperaturas registradas, tal como para o pH, apresentou uma média de 19,98 (fig.10.5), o que segundo a bibliografia é considerada adequada para a filtração lenta.

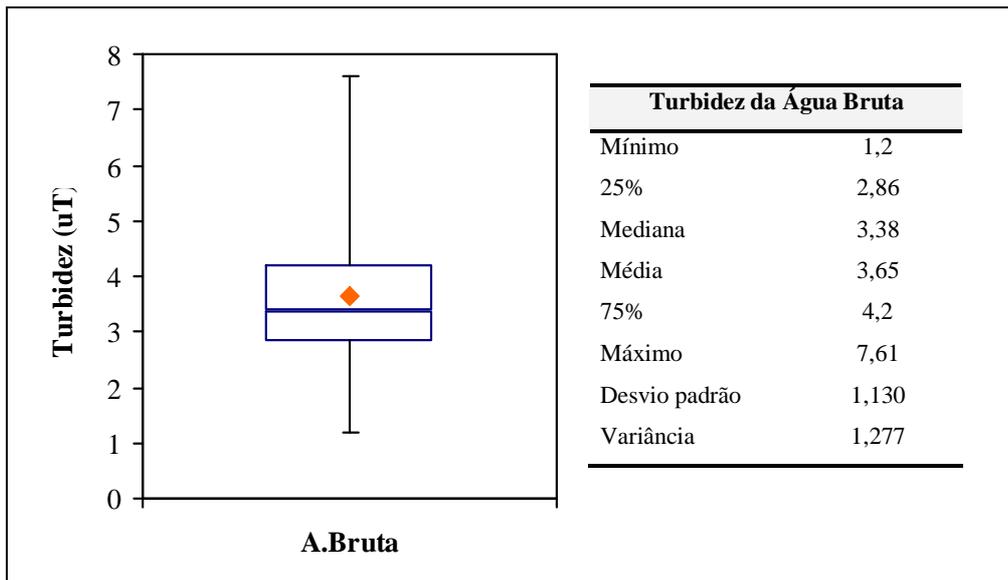


Figura 10.1 – Variação da Turbidez da Água Bruta ao longo das três carreiras

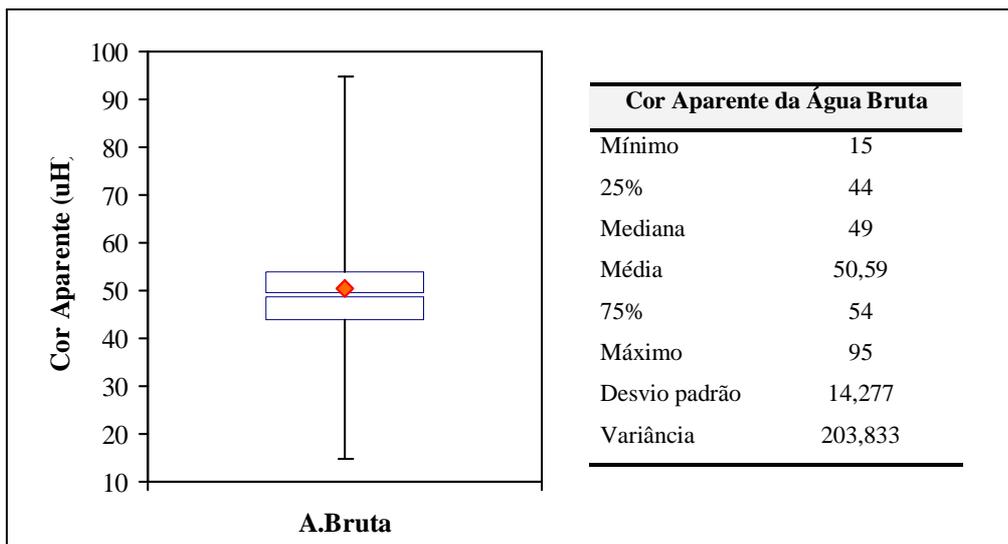


Figura 10.2 – Variação da Cor Aparente da Água Bruta ao longo das três carreiras

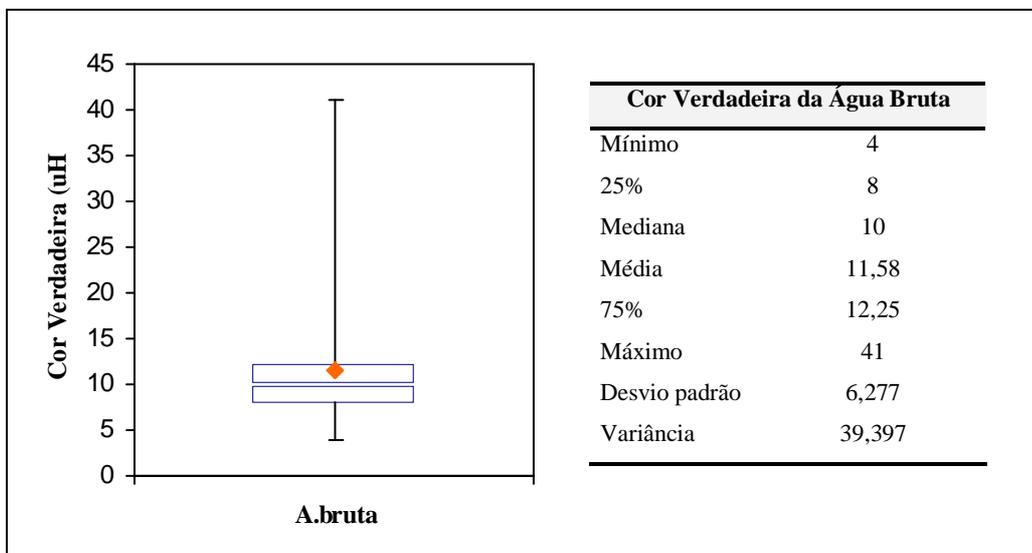


Figura 10.3 – Variação da Cor Verdadeira da Água Bruta ao longo das três carreiras

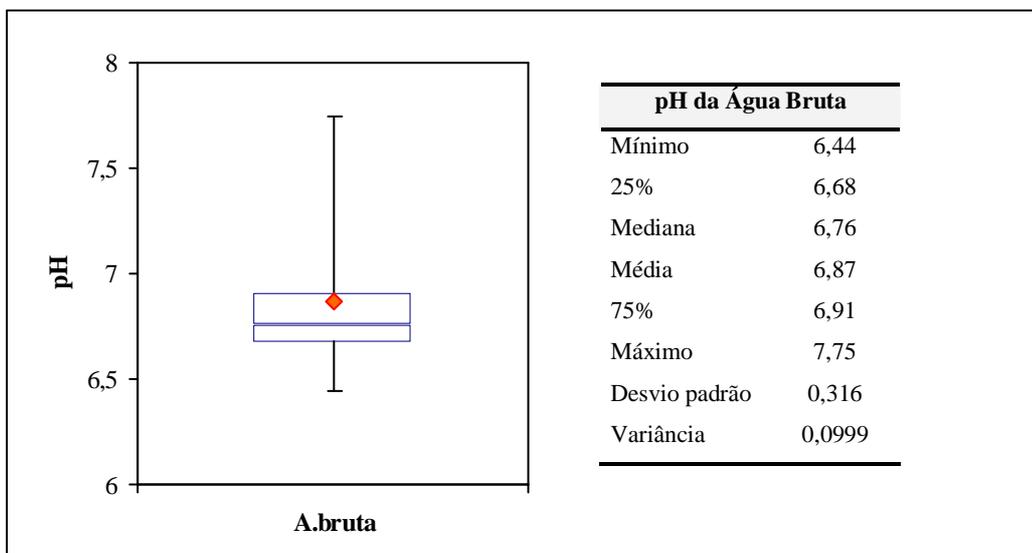


Figura 10.4 – Variação do pH da Água Bruta ao longo das três carreiras

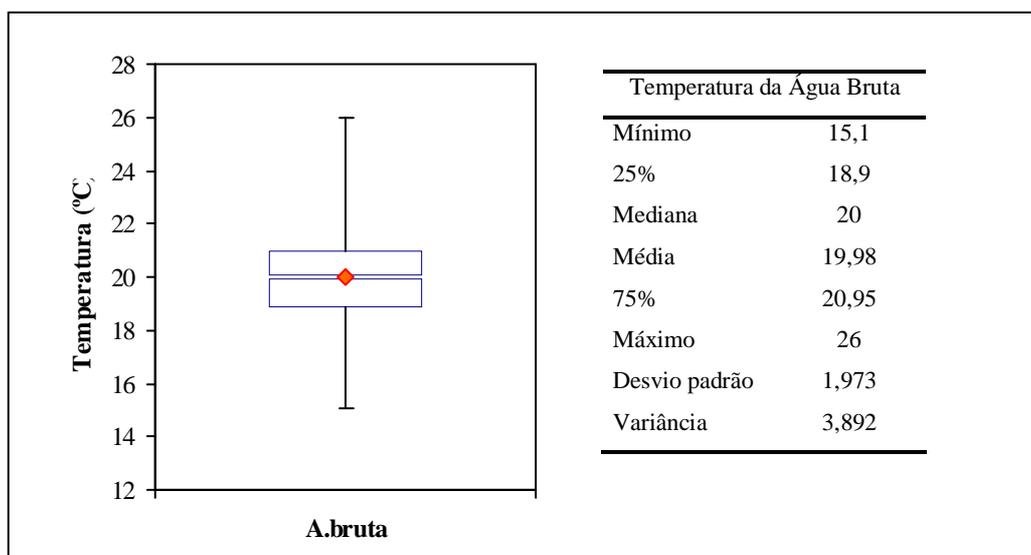


Figura 10.5 – Variação da Temperatura da Água Bruta ao longo das três carreiras

10.3 – Qualidade da Água Filtrada

Os parâmetros analisados já foram descritos na metodologia, na tabela 9.1, e os resultados obtidos são os que constam na tabela 10.1.

Tabela 10.1 – Parâmetros físico-químicos e biológicos analisados

| PARÂMETRO | ÁGUA BRUTA* | FILTRO 1** (5%)*** | FILTRO 2** (10%)*** | FILTRO 3** (15%)*** | FILTRO 4** (20%)*** | FILTRO 5** (25%)*** | FILTRO 6** (30%)*** |
|----------------------|-------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Turbidez | 3,71 | 1,25 (66,59%) | 1,13 (68,35%) | 1,23 (65,90%) | 1,05 (71,17%) | 1,38 (62,94%) | 1,21 (67,29%) |
| Cor Aparente (uH) | 52 | 21 (59,62%) | 21 (59,62%) | 23 (55,77%) | 20 (61,54%) | 28 (46,15%) | 23 (55,77%) |
| Cor Verdadeira (uH) | 15 | 10 (33,33%) | 9 (40,0%) | 14 (6,67%) | 11 (26,67%) | 12 (20,0%) | 11 (26,67%) |
| pH | 6,79 | 6,66 | 6,63 | 6,68 | 6,65 | 6,67 | 6,71 |
| Temperatura (°C) | 19,53 | 19,74 | 19,70 | 19,68 | 19,68 | 19,67 | 19,63 |
| Absorbância (254 nm) | 0,0218 | 0,0096 | 0,04415 | 0,0135 | 0,00685 | 0,02705 | 0,0137 |
| Dureza | 9,4 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |
| Alcalinidade | 8,53 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |
| Cloretos | 17,10 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |
| Ferro Total | 0,26 | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |

*Média da A. Bruta ao longo das 3 carreiras; ** Média das carreiras para os filtros 1 a 6 ; *** Expansão do leito filtrante durante a lavagem. N.A – Não Avaliado. OBS: valores de percentagem entre parêntesis, representam remoção em relação a água bruta.

10.3.1 – Temperatura

Para a temperatura verificou-se um ligeiro aumento da temperatura ($\pm 0,15^{\circ}\text{C}$) nas águas produzidas pelos filtros, que se pode observar pela Tabela 10.1. Este aumento pode-se justificar pela atividade metabólica dos microrganismos. No entanto esta variação não é muito significativa, e não é influenciada pela expansão do meio.

10.3.2 – Cor Verdadeira

Relativamente à cor verdadeira, a filtração lenta, não é muito eficaz. Pelos dados da Tabela 10.1, pode-se observar a relação entre cor verdadeira e a presença de matéria orgânica, dada pela absorbância. A remoção de cor verdadeira foi baixa, não ultrapassando o valor de 40% e apenas no filtro 2.

Este aspecto é evidenciado pelos estudos de Haarhoff, J. e Cleasby, (1991).

Talvez a baixa remoção de cor verdadeira, e conseqüentemente de matéria orgânica, seja devida ao domínio das cianobactérias, que ocorre na lagoa. Talvez elas não degradem tanto a matéria orgânica, e devido à sua elevada quantidade, vão competir com os outros microrganismos capazes de realizar essa degradação. Di Bernardo (1993), refere que a eficiência de remoção da matéria orgânica depende da comunidade biótica e da biomassa presente no *schmutzdecke*. Como a matéria orgânica não é decomposta, vai acabar por aparecer no efluente, e em conseqüência aumenta a cor verdadeira.

Verificou-se para os filtros 3, 4, 5 e 6, lavados com maior expansão, as menores remoções da cor verdadeira, o que também significa uma baixa remoção de matéria orgânica. Possivelmente os menores valores de expansão do leito filtrante durante a lavagem, apenas provocaram um ligeiro “formigueiro” na camada superficial do leito filtrante. Este fenómeno é desejável, pois irá contribuir para a manutenção de parte do filme biológico no topo da camada de areia onde se localiza a grande parte dos organismos que compõem o *schmutzdecke*. Isto irá favorecer os mecanismos responsáveis pela adsorção/oxidação da matéria orgânica, contribuindo assim para as maiores taxas de remoção nos filtros 1 e 2, com expansões de 5% e 10%, respectivamente.

10.3.3 – Cor Aparente

A eficiência da filtração lenta na remoção da cor aparente foi de cerca de 45 à 60% (fig.10.6), o que está de acordo com Azevedo Netto (1976). Tal como já referimos, a qualidade da água de estudo, não foi a mais indicada, devido à elevada quantidade e variedade de fitoplâncton. A cor aparente vai sofrer influência desses organismos, e possivelmente os mais pequenos e com maior mobilidade, acabam por não ficar retidos no leito filtrante e chegam ao efluente, contribuindo para a baixa remoção de cor aparente.

Para este parâmetro de estudo, não foi observada relação entre a expansão e a qualidade da água produzida pelos filtros lentos.

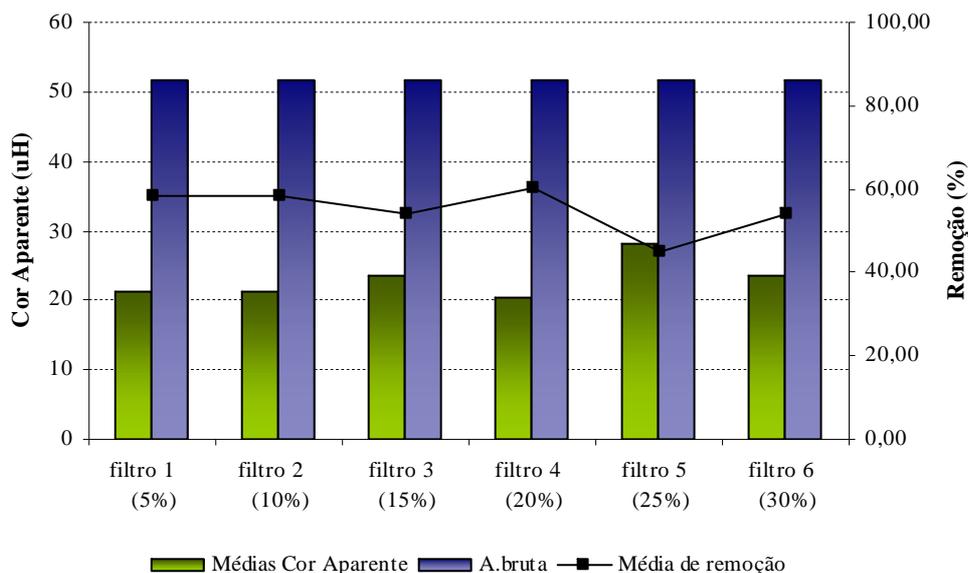


Figura 10.6 – Eficiência média de remoção de cor aparente nas 3 carreiras de filtração

10.3.4 – Turbidez

Na figura 10.7, podemos observar a relação entre a turbidez e a cor aparente, e concluir que quando uma aumenta a outra aumenta também, o que se justifica pois a cor aparente é diretamente proporcional à turbidez.

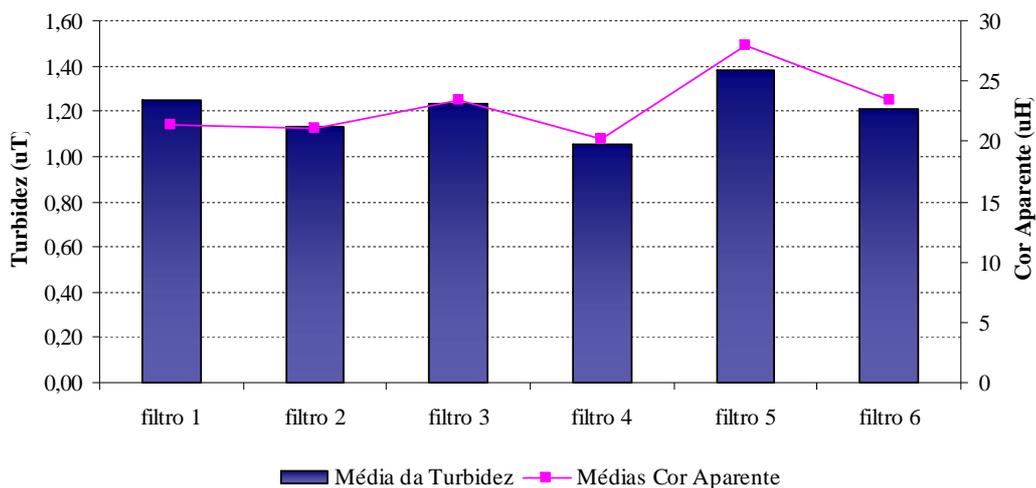


Figura 10.7 – Relação entre a turbidez e a cor aparente, valores médios das 3 carreiras

Na figura 10.8, observa-se que a remoção máxima da turbidez foi 67%. O que está abaixo do citado na bibliografia. Tal fato deve-se à qualidade da água bruta, que apesar de não ter uma turbidez inicial elevada (fig. 10.1), apresenta elevada presença de fitoplâncton, o que, como já foi referido, a torna inadequada para o uso em filtração lenta.

Podemos ainda verificar que a média da turbidez da água produzida pelos filtros registrou valores inferiores a 2,0 uT, o que está em conformidade com a Portaria MS nº 518/2004, artº.12, que estabelece o limite de 2,0 uT para água emanada de filtros lentos.

Para este parâmetro não se verificou qualquer influência da expansão da areia na qualidade das águas produzidas.

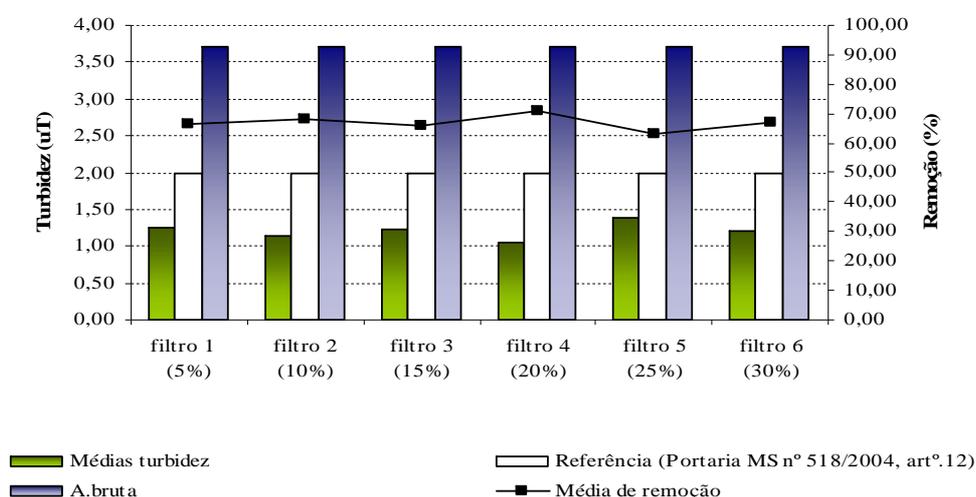


Figura 10.8 – Eficiência média de remoção de turbidez nas 3 carreiras de Filtração

10.3.5 – Perda de Carga

Pelos gráficos da figura 10.9, 10.10 e 10.11 podemos observar que independentemente da duração da carreira e da expansão do filtro, a formação da *schmutzdecke* ocorre aproximadamente ao fim de sete dias, o que se traduz pelo aumento da perda de carga no leito filtrante.

Na primeira carreira, o filtro que primeiro atingiu a perda de carga de 75 cm, isto é o que colmatou o leito primeiro foi o filtro 4. Já na carreira 2, foi o filtro 6 e na carreira 3 foi o filtro 5.

Devido à dificuldade de controlo da vazão de entrada nos filtros, a carreira 2 e 3 apresentaram valores de perda de carga relativamente baixos.

Ainda na carreira 3 registam-se grandes picos de variação das perdas de carga, o que se deve principalmente a problemas operacionais com a manutenção da vazão de água nos filtros.

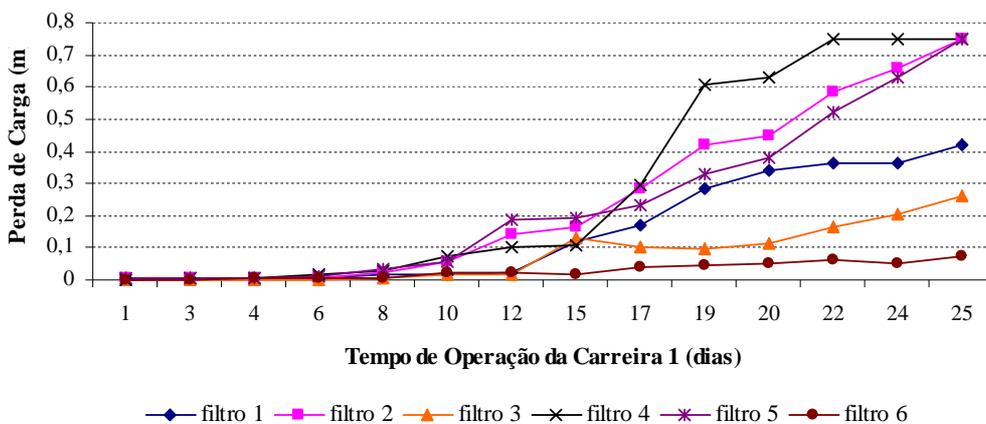


Figura 10.9 – Evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração 1

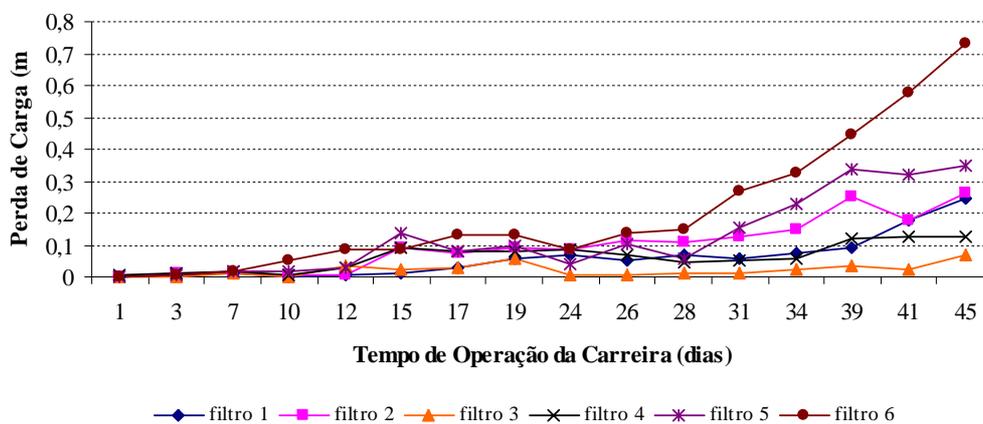


Figura 10.10 – Evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração 2

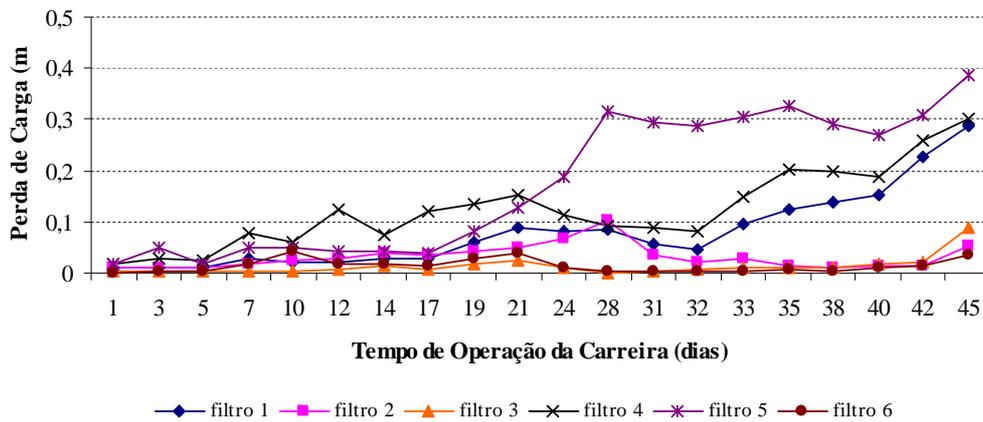


Figura 10.11 – Evolução da perda de carga ao longo da carreira de filtração 3

10.3.6 – Produção Efetiva dos filtros

Cada filtro foi lavado com uma expansão diferente (5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30%) durante o mesmo tempo (120 segundos), o que implica taxas de lavagem diferentes consoante os volumes de água gastos nessa mesma lavagem. Pelos dados pela Figura 10.12 e Tabela 10.2, podemos verificar que quanto menor a expansão, menor o volume de água gasto e logo, maior a produção efetiva do filtro.

Segundo Murtha *et al.* (1999a), os gastos com água de lavagem dos filtros lentos variam entre 0,2 a 0,6% do total filtrado, o que está em desacordo com os nossos dados. Para as produções efetivas, observadas na tabela 10.2, os gastos de água rondam os 1,01% (filtro 1 – carreira 1) e 2,65% (filtro 6 – carreira 1), o mesmo se passando para as demais carreiras. Estes valores podem ser justificados devido a um detalhe construtivo do filtro. A quando a sua construção, a camada suporte ficou com pouca altura. Assim durante a retrolavagem, a pouca espessura da camada suporte, vai fazer com que o jacto de água não seja uniforme, concentrando-se mais no centro do leito e assim, exige uma maior velocidade da água para atingir a expansão desejada.

Ao estipular o fim da carreira quando a perda de carga atingisse os 75cm, e não os 1,0 a 1,5 m conforme referido pela bibliografia, diminuimos o tempo de carreira e em consequência o volume produzido pelos filtros.

Este fator também influencia a produção efetiva dos filtros.

Tabela 10.2 – Produção Efetiva dos filtros

| | Filtros | Expansão | Volume médio produzido (L) | Volume médio Produzido (m ³ /m ²) | Volume Gasto na Retrolavagem (L) | Produção Efetiva (%) |
|------------|---------|----------|----------------------------|--|----------------------------------|----------------------|
| Carreira 1 | 1 | 5 | 545,4 | 74,71 | 5,5 | 98,99 |
| | 2 | 10 | 540,0 | 73,97 | 8,8 | 98,37 |
| | 3 | 15 | 560,5 | 76,78 | 8,5 | 98,48 |
| | 4 | 20 | 553,8 | 75,86 | 9,6 | 98,27 |
| | 5 | 25 | 546,3 | 74,84 | 13,5 | 97,53 |
| | 6 | 30 | 547,9 | 75,05 | 14,5 | 97,35 |
| Carreira 2 | 1 | 5 | 569,8 | 78,05 | 5,5 | 99,03 |
| | 2 | 10 | 557,7 | 76,40 | 8,2 | 98,53 |
| | 3 | 15 | 570,8 | 78,19 | 8,5 | 98,51 |
| | 4 | 20 | 549,4 | 75,26 | 9,5 | 98,27 |
| | 5 | 25 | 554,3 | 75,93 | 13,3 | 97,60 |
| | 6 | 30 | 564,7 | 77,36 | 15,2 | 97,31 |
| Carreira 3 | 1 | 5 | 565,2 | 77,42 | 5,5 | 99,03 |
| | 2 | 10 | 552,0 | 75,62 | 7,5 | 98,64 |
| | 3 | 15 | 560,8 | 76,82 | 8,0 | 98,57 |
| | 4 | 20 | 557,4 | 76,36 | 8,8 | 98,42 |
| | 5 | 25 | 557,4 | 76,36 | 13,5 | 97,58 |
| | 6 | 30 | 557,4 | 76,36 | 14,5 | 97,40 |

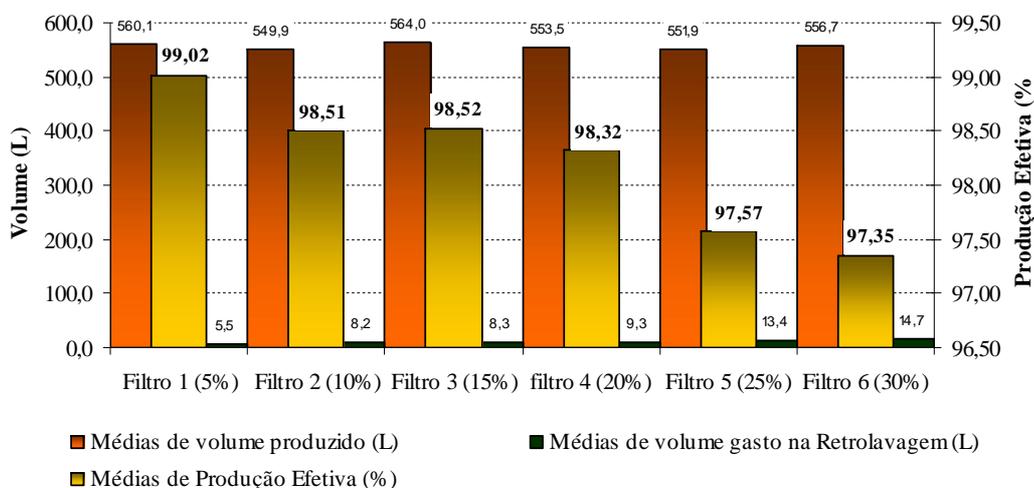


Figura 10.12 – Médias de Volume Produzido vs Médias de Volume Gasto na Retrolavagem, e Médias de Produção Efetiva ao longo das 3 Carreiras

10.3.7 – Coliformes Totais e Fecais

A remoção de coliformes fecais foi total, registrando-se a sua ausência nas águas produzidas pelos filtros (tabela 10.3). Tal como é referido por Murtha e Heller (2003), a filtração lenta é muito eficaz na remoção de *E. coli*.

Em relação a este parâmetro também não se verificou qualquer influência da expansão da areia neste parâmetro.

Tabela 10.3 – Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e Fecais

| | A. Bruta | Filtro 1 | Filtro 2 | Filtro 3 | Filtro 4 | Filtro 5 | Filtro 6 | |
|-------------------|---------------------------------|----------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------|---------------|
| Carreira 2 | Coliformes Totais (NPM/100ml)** | > 2419,2 | 325,5 (86,5%) | N.A. | 10,9 (99,5%) | 461,1 (80,9%) | N.A. | 275,5 (88,6%) |
| | Coliformes Fecais (NPM/100ml)** | 28,5 | A | A | A | A | A | A |
| Carreira 3 | Coliformes Totais (NPM/100ml)** | > 2419,2 | N.A. | 47,2 (98,1%) | 866,4 (64,2%) | 365,4 (84,9%) | N.A. | 12,8 (99,5%) |
| | Coliformes Fecais (NPM/100ml)** | 2,0 | A | A | A | A | A | A |

A – Ausente; N.A – Não Avaliado. OBS: valores de percentagem entre parêntesis, representam remoção em relação à água bruta.

10.3.8 – Fitoplâncton

A espécie fitoplanctónica dominante encontrada na água bruta do manancial da lagoa do Peri, durante a carreira 2, pertence às cianobactérias, espécie *Cylindrospermopsis raciborskii* (fig. 10.12), com uma distribuição de 81% (fig. 10.13). A dominância dessas cianobactérias no manancial representa um sério problema para a estação de tratamento, uma vez que são potencialmente produtoras de toxinas e por apresentarem formas filamentosas, que ocasionam colmatação dos filtros, além de aumentarem consideravelmente os custos do tratamento, tornando-o também mais difícil.

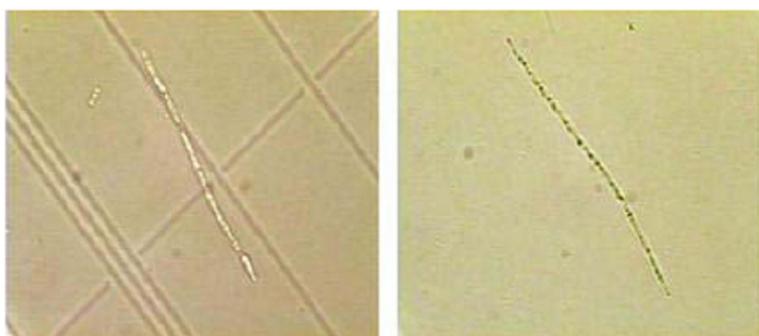


Figura 10.13 – Fotos da espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, encontrada no manancial da Lagoa do Peri, com aumento de 400x (Mondardo, 2004)

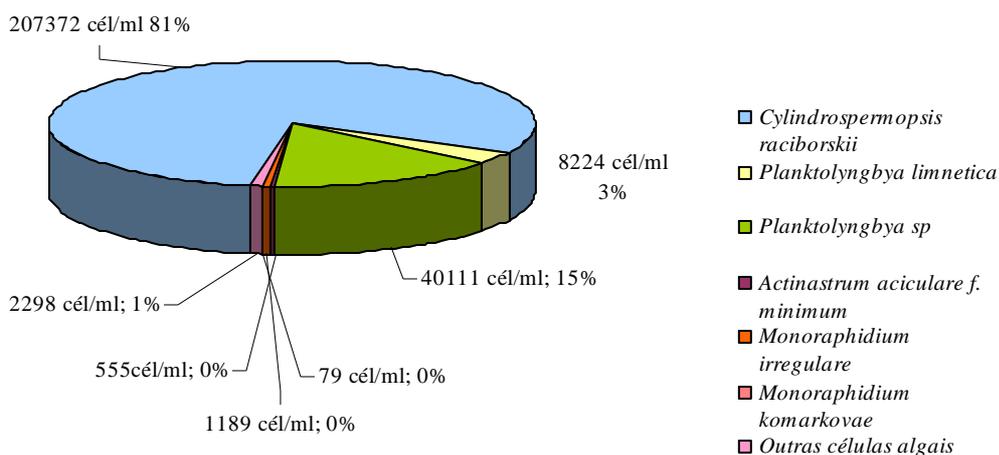


Figura 10.14 – Distribuição do fitoplâncton encontrado na água bruta, em células/ml

Os valores encontrados na água bruta para a espécie *Cylindrospermopsis raciborskii*, é de 207.372 células/ml. Valor que está muito acima dos referidos pela Portaria MS nº 518/2004, que dispõe sobre qualidade de água para consumo humano, e contempla a problemática das cianobactérias. Esta portaria exige que sempre que o número de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, exceder 20.000 células/ml (2mm³/L de biovolume), será exigida a análise semanal de cianotoxinas na água na saída do tratamento e nas entradas (hidrômetros) das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, sendo que esta análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

Relativamente à remoção de fitoplâncton, a filtração lenta apresentou resultados moderados, sendo que o maior se registrou no filtro 4, com uma remoção de 1,59-log ou 95,3% (fig. 10.14). Estes valores de eficiência de remoção de algas no filtro lento dependem principalmente das características das algas (espécie, tamanho e mobilidade) e da concentração das mesmas na água bruta. Logo como a água de alimentação dos filtros tinha uma concentração inicial muito elevada é de esperar que a remoção não seja muito eficaz.

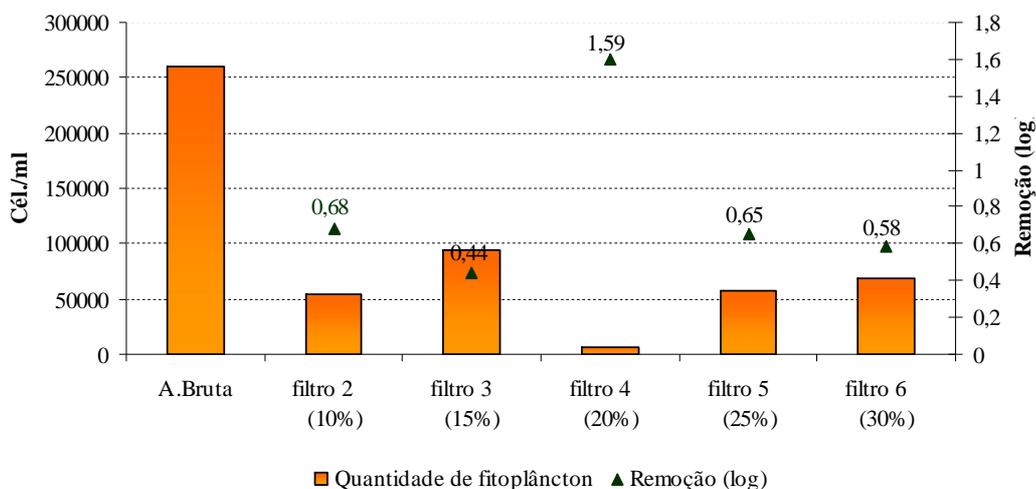


Figura 10.15 – Eficiência de remoção de fitoplâncton nas Carreiras de Filtração 1

11. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No experimento realizado concluiu-se que a expansão de areia não apresenta grande influência na maior parte dos parâmetros de controle da água produzida por filtração lenta. No entanto, é considerado necessário a realização de mais carreiras de filtração e um estudo mais aprofundado dos parâmetros em causa.

De acordo com os nossos resultados, a retrolavagem mostrou-se bastante eficiente enquanto operação de limpeza de filtros. Expansões mais baixas do leito filtrante, de 5% a 10%, são bastante promissoras, no que diz respeito à qualidade da água produzida, e também na economia de água para lavagem dos filtros.

A formação do *schmutzdecke* é independente da expansão da areia e da duração das carreiras de filtração. Para as três carreiras foi verificado que o *schmutzdecke* se forma durante aproximadamente nos primeiros 7 dias de operação.

Não foi verificada relação entre a expansão da areia e a duração das carreiras. No entanto, como apenas foram realizadas três carreiras de filtração, aconselha-se a realização de estudos mais longos.

BIBLIOGRAFIA

- AGGIO, C. E. G. – *A comunidade biótica dos filtros lentos de areia da estação piloto do SHS-Escola de Engenharia de São Carlos*. São Carlos. 205p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1993
- 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*. S.Carlos(SP). Sem data. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes22/dxlo.pdf>. Consultado em: 17 de Junho 2008
- AZEVEDO NETTO, J. M. A. - *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água – Volume 2*. 2ª edição - S. Paulo; CETESB, 1979.
- BOURNE, D. G.; *et al.* - *Biodegradation of the cyanobacterial toxin microcystin LR in natural water and biologically active slow sand filters*. Elsevier: Water Reserch 40. Austrália, p.1294-1302, janeiro 2006.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.
- CASTRO, C. M. B. - *IPH 214 - TRATAMENTO DE ÁGUA: Filtração*. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul. 17 p., 2005.
- CLEASBY, J.L & FAN, K. Predicting Fluidization and Expansion of Filter Media. **Journal of the Environmental Engineering Division**, v. 107, n. EE3, p. 455-471, Jun. 1981.
- CLEASBY, J.L., *Source water quality and pretreatment options for slow sand filters, in Slow Sand Filtration*. American Society of Civil Engineers, p 69-100 New York. 1991
- COSTA, R.H.. - *Estudos Comparativos da Eficiência de Filtros Lentos de Areia Convencional e de Fluxo Ascendente*. São Carlos, 1980, 169p. Dissert. (mest. Hidr.san.) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.
- DALSASSO, R.L. – *Estudo de Diferentes Materiais para Floculação em meio granular, precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de água para abastecimento*. Florianópolis, 2005, 272p. Dissert. (Doutoramento em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- Di BERNARDO, L.– *Métodos e técnicas de Tratamento de Água*, vol.II. Rio de Janeiro. ABES, 1993.

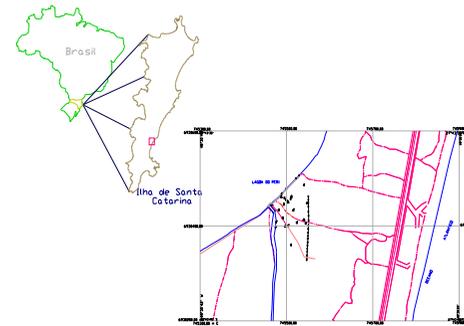
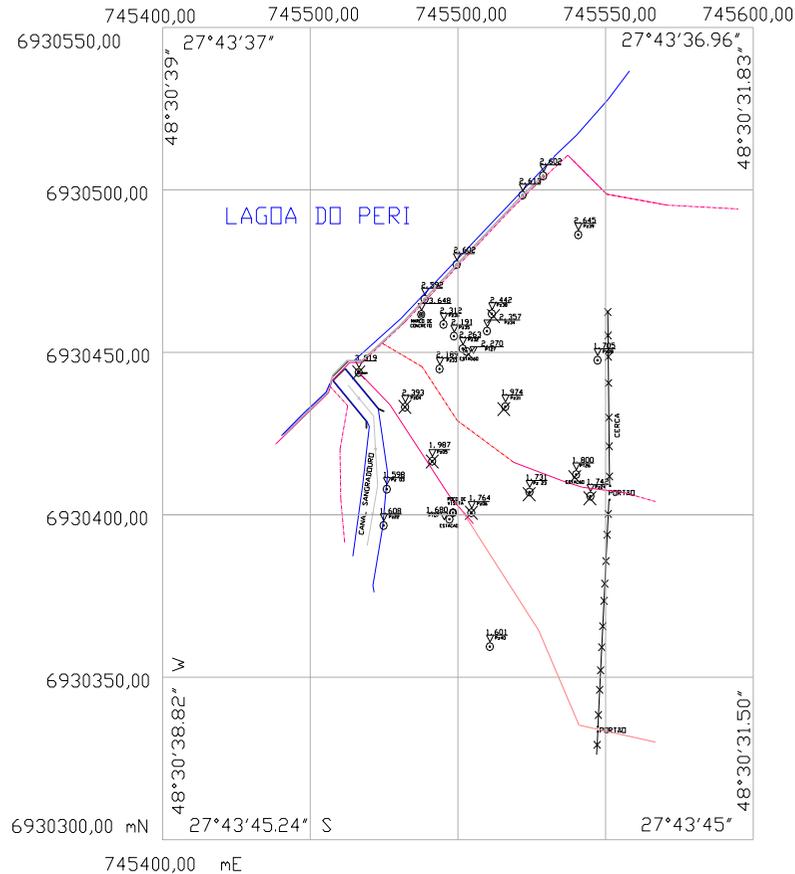
- Di BERNARDO, L.; RIVERA, E. – *Influence of sand uniformity coefficient on slow sand filtration*. In: Advances in slow sand and alternative biological filtration pp. 179 – 178, John Wiley & Sons Ltd, England, 1996.
- Di BERNARDO, L. (Comp.). *Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas*. PROSAB. Rio de Janeiro, ABES, 114 p., 1999.
- Di BERNARDO, L.; DANTAS, A. – *Métodos e técnicas de Tratamento de Água*, 2ª Edição. S. Carlos, SP, RIMA, 2005.
- 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.
- HELLER, L.; VIEIRA, M.C.M., BRITO, L.L.A.; SALVADOR, D.P. – *Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de Cryptosporidium sp., bactérias e sólidos: Uma avaliação em instalação piloto*. Engenharia Sanitária e Ambiental. Brasil, Vol. 11 – Nº 1. pp. 27 – 38, Jan/Mar 2006.
- MALDONADO, V.; VARGAS, L. C.; BARRENECHEA, A. - *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida- Manual I - Teoría tomo II*. Capítulo 3: Filtración. pp. 83-152. CEPIS. Lima, 2004.
- MICHELIN, A. K. – *Filtro Lento com Retrolavagem*. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2002.
- MONDARDO, R. I. – *Influência da Pré-oxidação na Tratabilidade das águas via Filtração Direta Descendente em Manancial com Elevadas Concentrações de Microalgas e Cianobactérias*. Florianópolis, 2004, 148p. Dissert. (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
- 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, J. E. S.; ROSTON. D. M. – *Tecnologias para Tratamento e Re-uso da Água no Meio Rural*. In: HAMADA, E. (Ed.) *Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.
- RABELO, L. – *Estudos Preliminares para implantação da Filtração em margem na Lagoa do Peri de pré-tratamento de água para remoção de fitoplâncton*. 152 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2006.
- RICHTER, C. A; AZEVEDO NETTO, J.M. – *Tratamento de Água – Tecnologia Atualizada*; 5ª re-impressão, Edgard Blucher, São Paulo, 2003.
- SÁNCHEZ, L. D.; LATORRE, J.; GALVIS, G. – *Comportamiento de la población de algas y protozoos despues de la limpieza de la biomembrana en un filtro lento en arena* - 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. II – 019, pp. 4251 – 4263. ABES, 1999.
- 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.
- VISSCHER, J.T. – *Slow sand filtration: Design, operation and Maintenance*. Journal of the American Water Works Association JAWWA5 Vol. 82, No. 6, p 67-71, 1990.

ANEXOS

Anexo 1

Levantamento e Nivelamento dos Poços Piezométricos



Escala 1:750

| Legenda | |
|---------|--|
| | Canal Sangradouro |
| | Conevã das Coordenadas UTM |
| | Pontos Nivelados e Poços Piezométricos |
| | RN |
| | Pontos Cotados |
| | Hidrografia |
| | Pontos GPS |
| | Arruamentos |

| NUM | DESCRIÇÃO | NORTE (m) | LESTE (m) | ALT. (m) | ALT. (m) (BVL) |
|-----|--------------|---------------|-------------|----------|----------------|
| 1 | RN / ESTACAO | 6.930.443,879 | 745.466,424 | 2,819 | 2,998 |
| 2 | P203 | 6.930.407,990 | 745.475,700 | 1,505 | 1,598 |
| 3 | P204 | 6.930.423,310 | 745.480,182 | 1,297 | 1,297 |
| 4 | P205 | 6.930.402,235 | 745.541,540 | 1,767 | 1,764 |
| 5 | MARSI CENC | 6.930.440,661 | 745.487,780 | 2,446 | 2,449 |
| 6 | MARSI H20-A | 6.930.504,325 | 745.528,970 | 2,610 | 2,608 |
| 7 | MARSI H20-B | 6.930.498,790 | 745.531,170 | 2,611 | 2,611 |
| 8 | MARSI H20-C | 6.930.484,710 | 745.488,780 | 2,594 | 2,611 |
| 9 | MARSI H20-D | 6.930.443,820 | 745.488,780 | 2,599 | 2,608 |
| 10 | MARSI H20-E | 6.930.428,710 | 745.484,640 | 1,947 | 1,608 |
| 11 | P201 | 6.930.407,920 | 745.524,250 | 1,516 | 1,731 |
| 12 | P202 | 6.930.423,300 | 745.524,250 | 1,548 | 1,568 |
| 13 | P203 | 6.930.443,300 | 745.541,220 | 2,508 | 2,514 |
| 14 | P204 | 6.930.444,300 | 745.493,780 | 2,106 | 2,389 |
| 15 | P205 | 6.930.423,300 | 745.509,680 | 2,117 | 2,227 |
| 16 | P206 | 6.930.423,300 | 745.488,680 | 2,126 | 2,316 |
| 17 | P207 | 6.930.444,300 | 745.488,680 | 2,254 | 1,441 |
| 18 | P208 | 6.930.486,380 | 745.540,750 | 2,619 | 2,645 |
| 19 | P209 | 6.930.486,380 | 745.528,820 | 1,630 | 1,601 |

Mapa gerado a partir da Base Cartográfica do CELESC
Inclinação magnética calculado para Junho de 2004
Convergência Meridiana referente ao centro do Mapa Base



Variação Anual $-6,8'$
Projeção Universal Transversa de Mercator
Meridiano Central 51° de Greenwich
 $k = 1,00034$
DATUM HORIZONTAL SAD 69 - IBGE
DATUM VERTICAL Marégrafo Imbituba - SC - IBGE

UFSC - CTC - ECV
Laboratório de Ciências Geodésicas
Grupo de Geodésia e Topografia
Campo de Pesquisa do LAPDÁ

Execução: Laboratório de Ciências Geodésicas
Fonte dados: Base Cartográfica CELESC Esc. 1:5000
Observação: Projeto de Extensão do LABCIG

Levantamento e Nivelamento dos Poços Piezométricos

Coordenação: Prof. Dr. Juçiele Cordini
Responsável Técnico: Eng. Sálvio José Vieira

APÊNDICES

Apêndice 1 – Parâmetros de controlo dos filtros

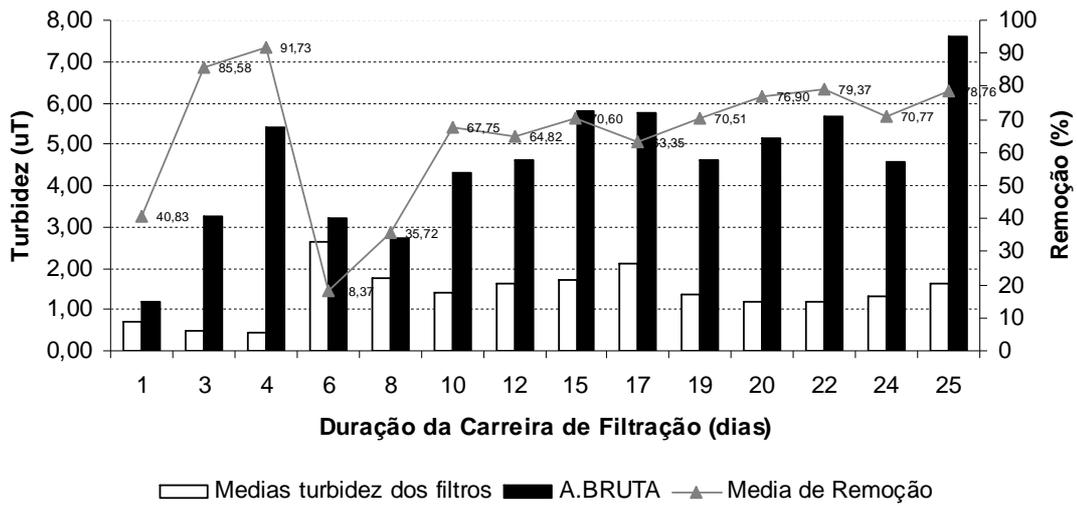


Figura A.1 – Eficiência de Remoção da Turbidez na Carreira 1

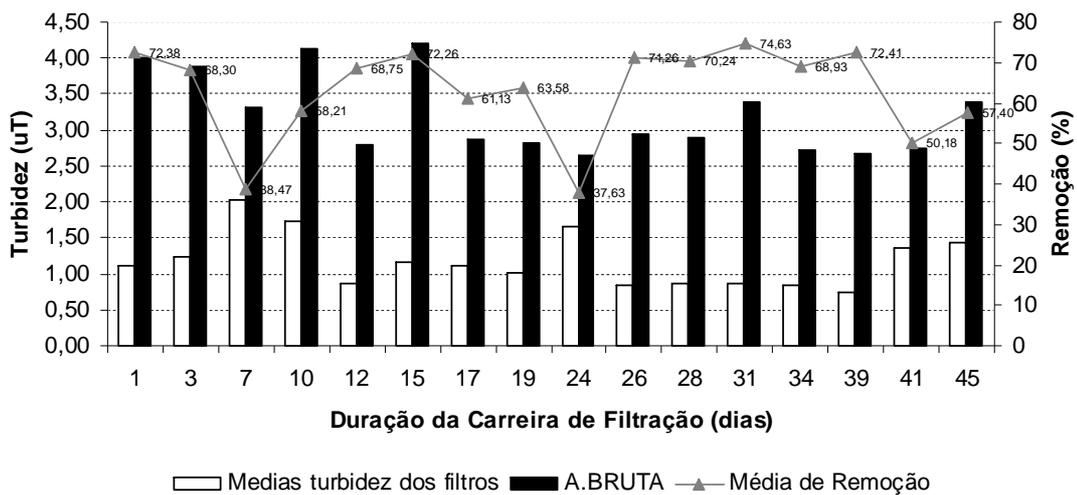


Figura A.2 – Eficiência de Remoção da Turbidez na Carreira 2

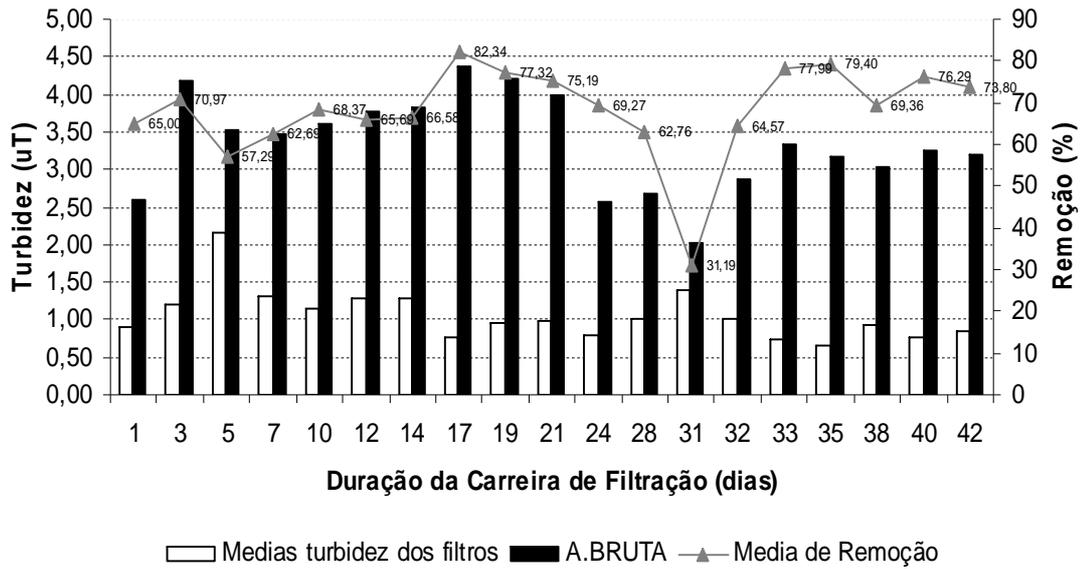


Figura A.3 – Eficiência de Remoção da Turbidez na Carreira 3

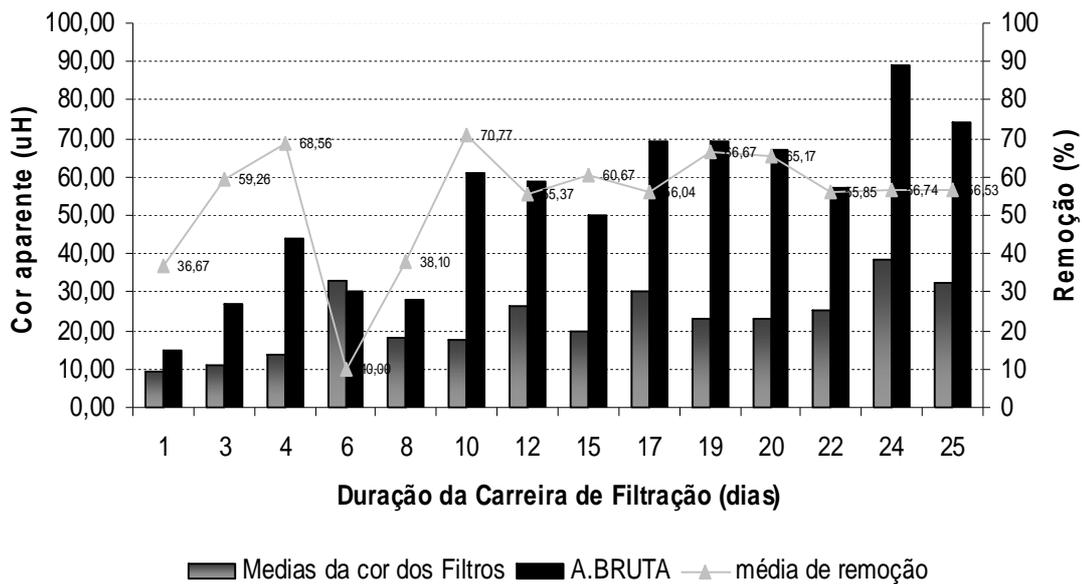


Figura A.4 – Eficiência de Remoção da Cor Aparente na Carreira 1

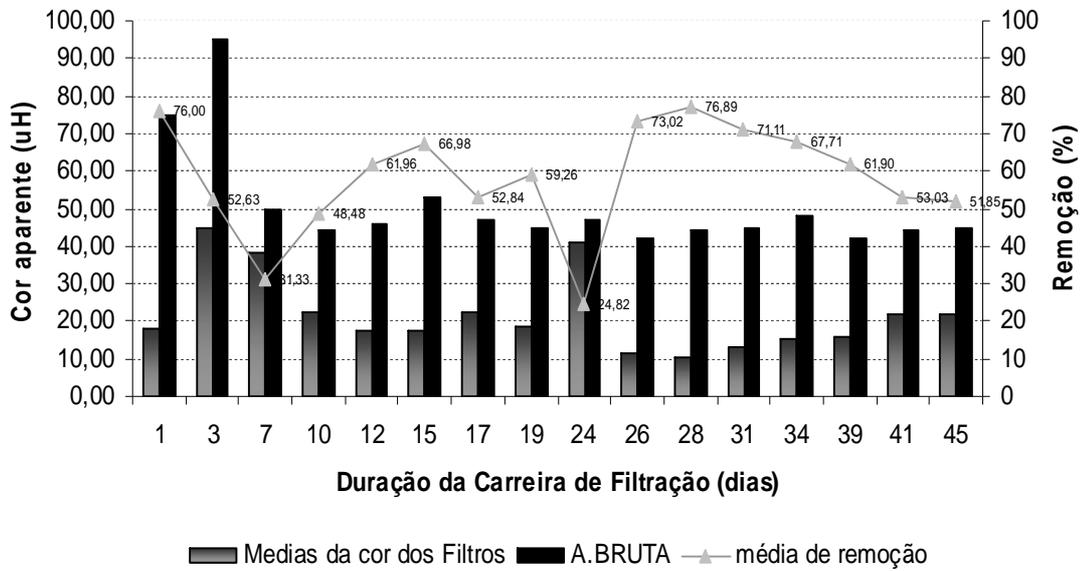


Figura A.5 – Eficiência de Remoção da Cor Aparente na Carreira 2

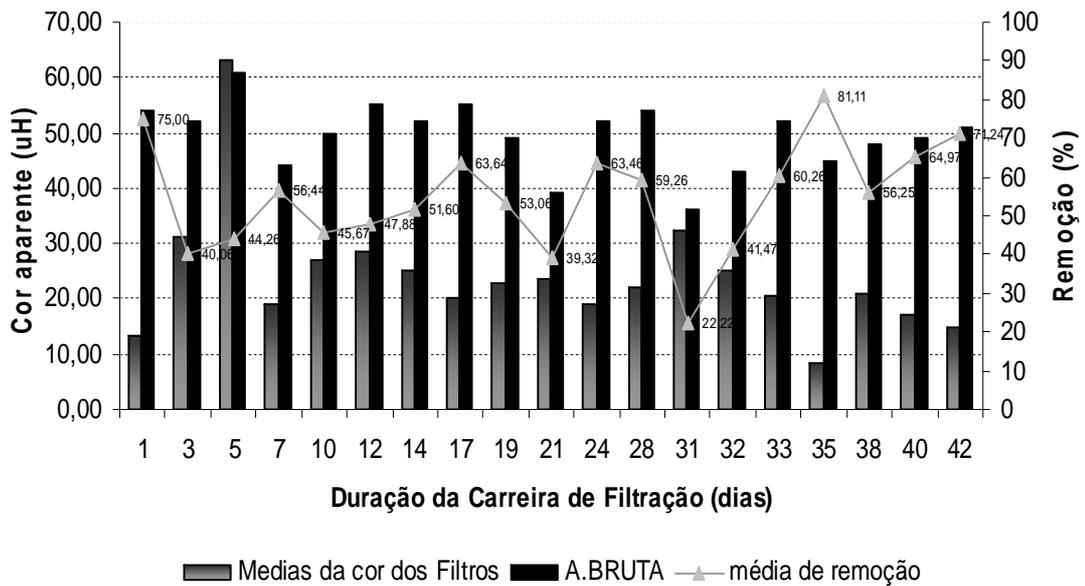


Figura A.6 – Eficiência de Remoção da Cor Aparente na Carreira 3

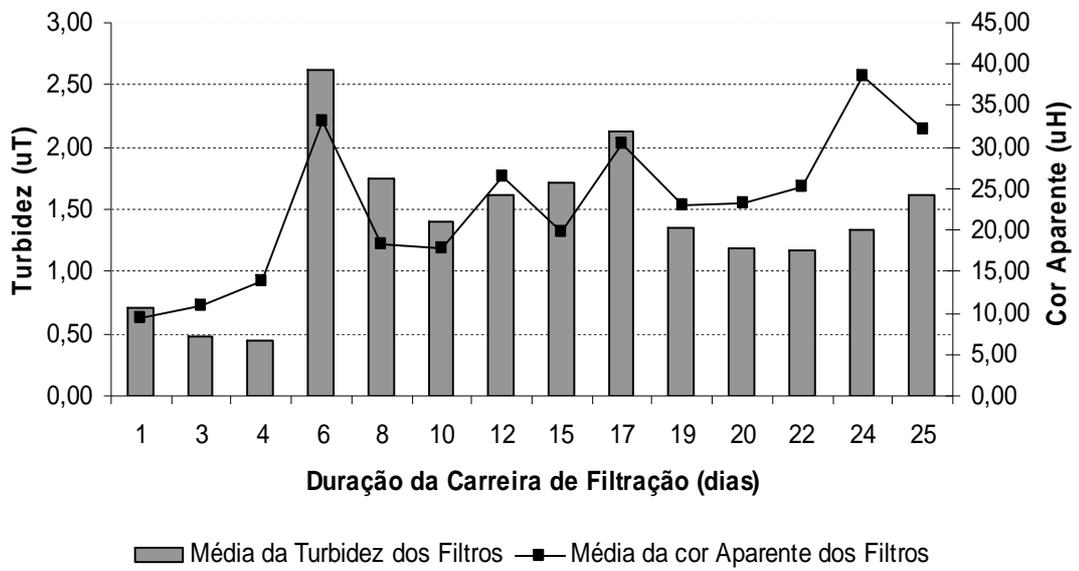


Figura A.7 – Relação entre a Turbidez e a Cor Aparente na Carreira 1

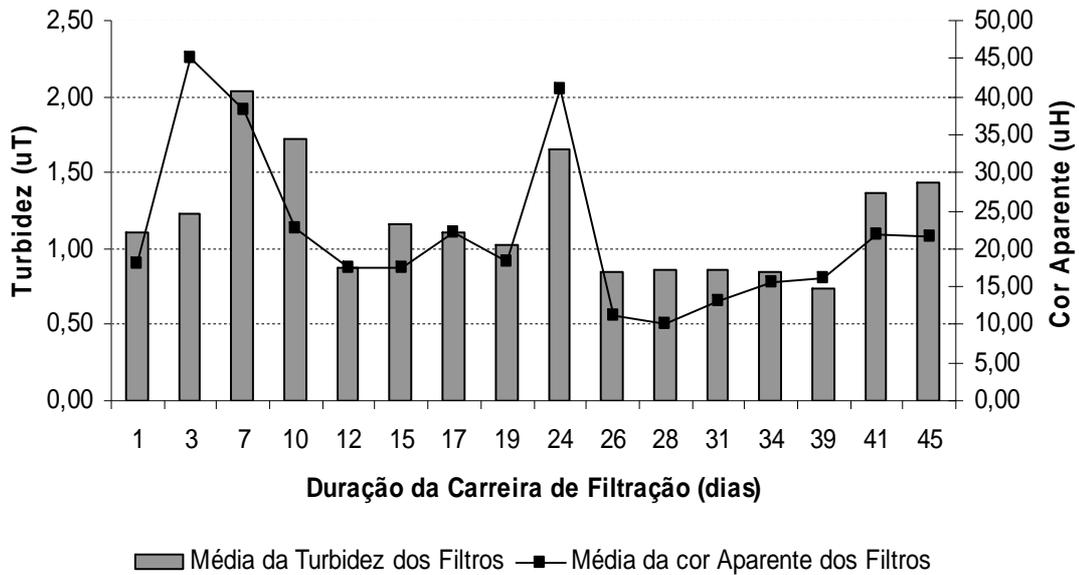


Figura A.8 – Relação entre a Turbidez e a Cor Aparente na Carreira 2

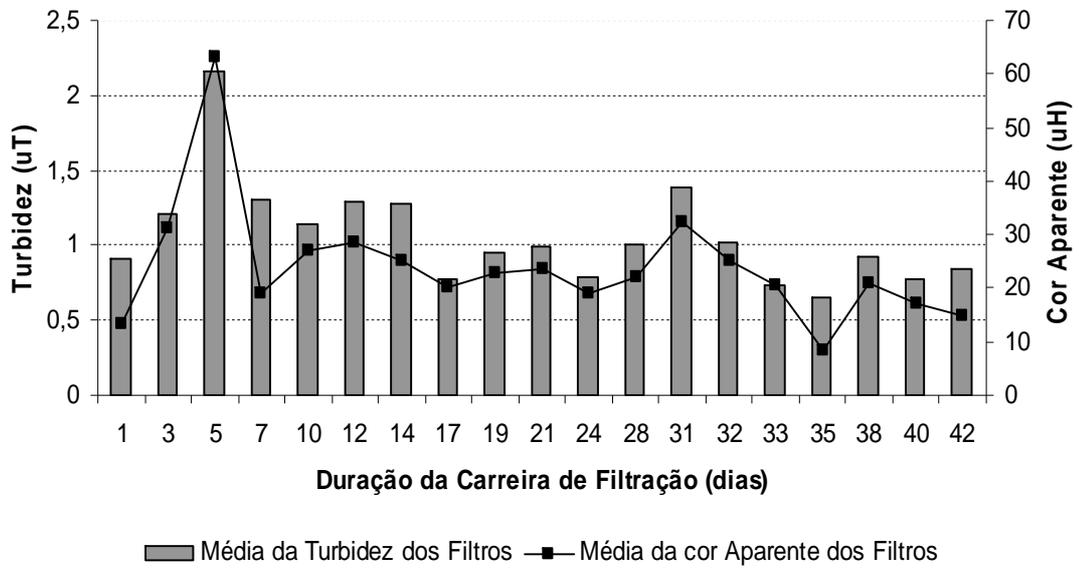


Figura A.9 – Relação entre a Turbidez e a Cor Aparente na Carreira 3

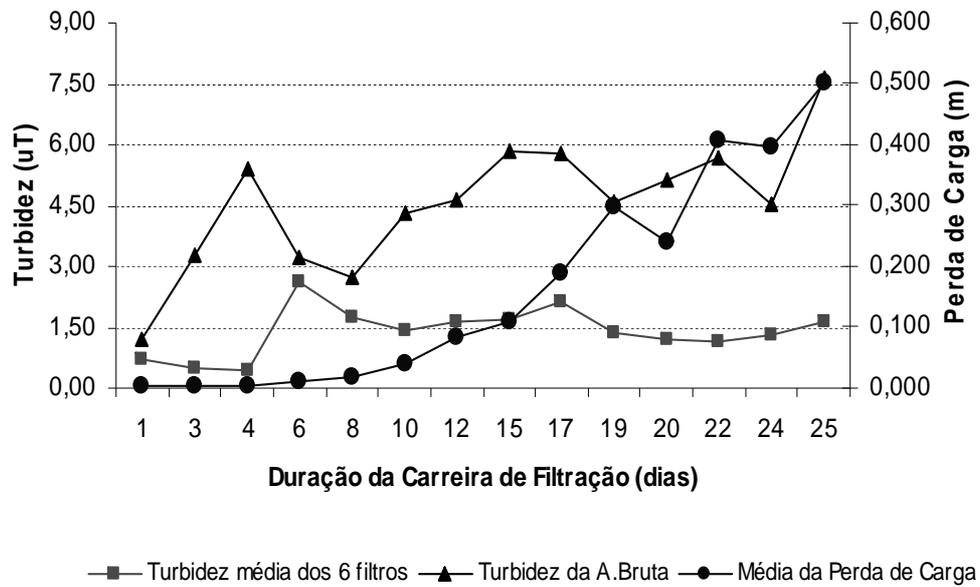


Figura A.10 – Relação entre a Turbidez e Perda de Carga na Carreira 1

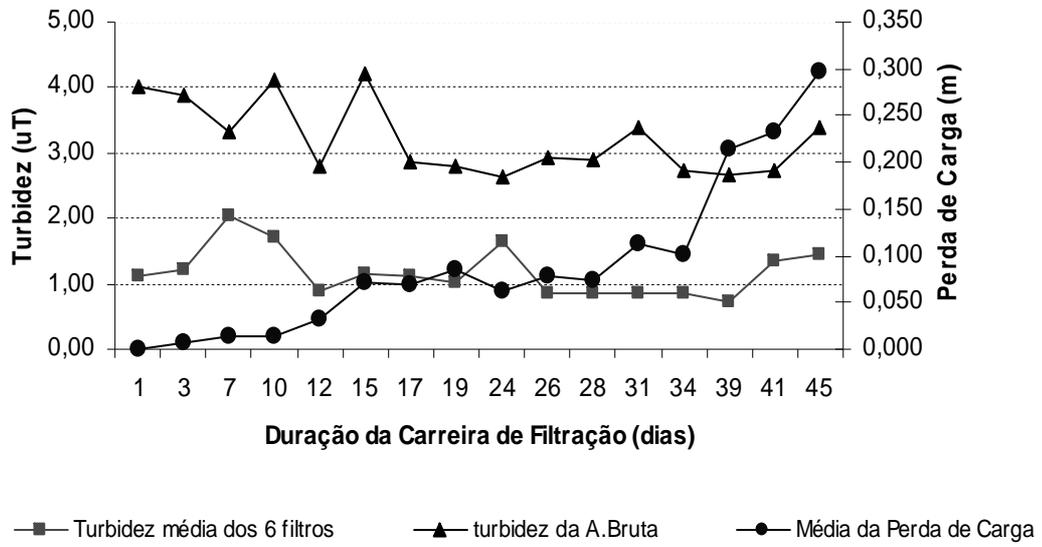


Figura A.11 – Relação entre a Turbidez e Perda de Carga na Carreira 2

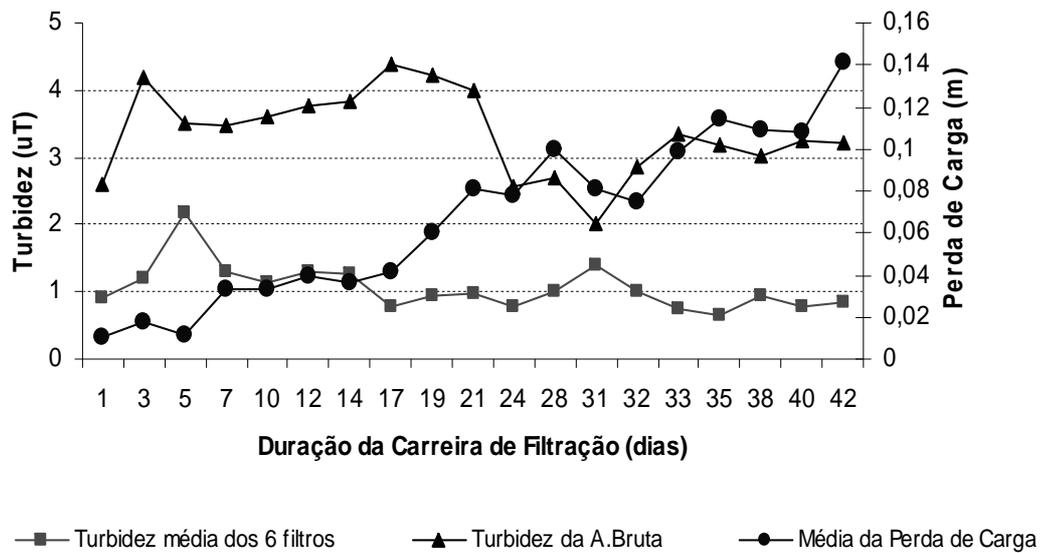


Figura A.12 – Relação entre a Turbidez e Perda de Carga na Carreira 3

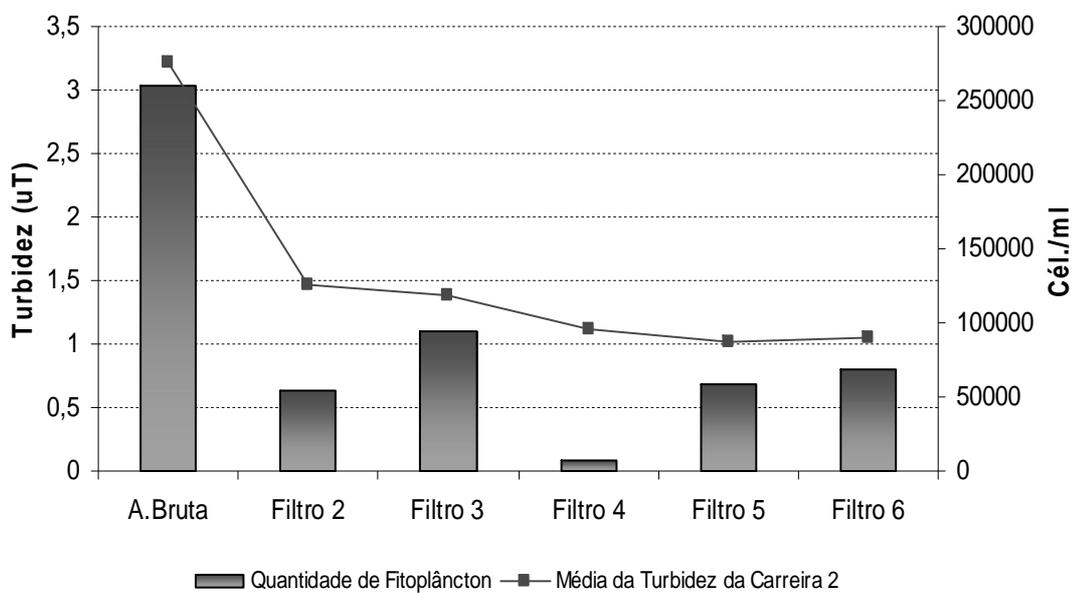


Figura A.13 – Relação entre a Turbidez e a Presença de Fitoplâncton na Carreira 2

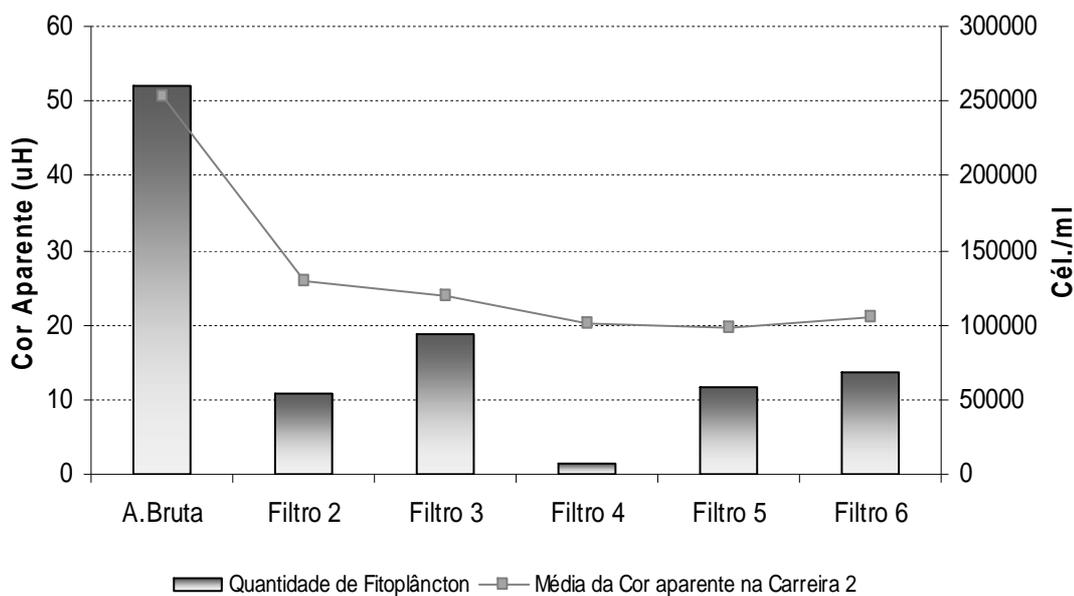


Figura A.14 – Relação entre a Cor Aparente e a Presença de Fitoplâncton na Carreira 2

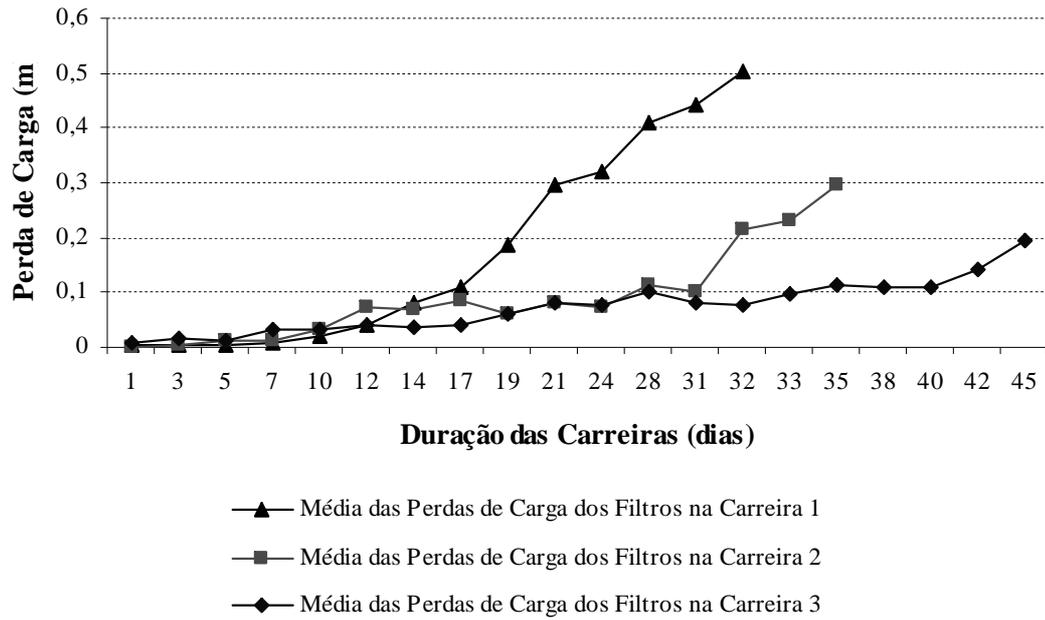


Figura A.15 – Variação Média da Perda de Carga ao longo das 3 Carreiras de Filtração