Campus de São Carlos

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
COM SISTEMA DE DUPLA FILTRAÇÃO,
EM ESCALA REAL

João Rodrigo Saldanha

Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço:...../...../.....

Ass.:.....

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM SISTEMA DE DUPLA FILTRAÇÃO, EM ESCALA REAL

João Rodrigo Saldanha

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Hidráulica e Saneamento.

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036953

ORIENTADOR: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

São Carlos
2002

Class. TESE
Cuti. 5047
Tombo T0102/02

at 1244397

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S162a Saldanha, João Rodrigo
Avaliação do desempenho de uma estação de
tratamento de água com sistema de dupla filtração,
em escala real / João Rodrigo Saldanha. -- São
Carlos, 2002.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo.

1. Tratamento de água para abastecimento. 2. Dupla
filtração. 3. Filtração direta ascendente em areia.
4. Operação de estações de dupla filtração. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **JOÃO RODRIGO SALDANHA**

Dissertação defendida e julgada em 28-03-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **CARLOS GOMES DA NAVE MENDES**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Prof. Dr. **MAURICIO LUIZ SENS**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Aprovado

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*“Atos nobres possuem mais valor
que nascer em família nobre”.*

Confucius.

Dedicatória

A minha mãe, Relma, meu pai, João Alberto e a minha irmã, Fernanda, pelo incentivo nos momentos difíceis.

A minha companheira, Jeanne, e a minha filha, Maria Julia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha existência.

Ao Professor Luiz Di Bernardo pela orientação recebida durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), pelo apoio prestado.

Aos colegas Donizeti, André, e a todos os outros que de alguma forma ajudaram na realização do trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC – USP, que contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos colegas do curso e a todos os amigos que aqui conheci, em especial a: Giovanni, Leonardo, Marcio Nemer, Helio, Paulo e Julio. Pelo incentivo em todos os momentos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE	3
3.2 COAGULAÇÃO NA FILTRAÇÃO ASCENDENTE E DUPLA FILTRAÇÃO	17
3.3 FILTRAÇÃO RÁPIDA DESCENDENTE	21
3.4 DUPLA FILTRAÇÃO	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	28
4.2 PRIMEIRA ETAPA	28
4.2.1 Levantamento das unidades da ETA2	29
4.2.2 Análise Granulométrica do Meio Filtrante das Unidades	29
4.2.3 Verificação do funcionamento da ETA2	29
4.3 SEGUNDA ETAPA	30
4.3.1 Turbidez	30
4.3.2 Ph	30
4.3.3 Vazão efluente às unidades	31
4.3.4 Dosagem de Coagulante	33
4.3.5 Expansão da areia e qualidade da água de lavagem	34
4.3.6 Evolução da perda de carga nos filtros ascendentes e descendentes	36
4.3.7 Contagem de partículas	37
4.3.8 Produção efetiva da ETA2	37
4.4 TERCEIRA ETAPA	38
4.4.1 Influência das descargas de fundo e lavagens e intermitência na qualidade física da água	39
4.4.2 Influência das descargas de fundo na qualidade bacteriológica da água pré-filtrada e filtrada	39

4.4.3 Verificação de caminhos preferenciais.....	40
4.5 QUARTA ETAPA	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 PRIMEIRA ETAPA	45
5.1.1 Descrição Geral da ETA2.....	45
5.1.2 Características do material filtrante.....	49
5.1.3 Operação de filtração e de lavagem.....	51
5.2 SEGUNDA ETAPA	55
5.2.1 Situação Geral da ETA2.....	55
5.2.2 Turbidez.....	57
5.2.3 Dosagem de Coagulante.....	62
5.2.4 pH da água bruta e água coagulada	64
5.2.5 Vazão efluente aos módulos e taxas de filtração.....	65
5.2.6 Expansão da areia e eficiência da lavagem	65
5.2.7 Evolução da perda de carga nos filtros ascendentes e descendentes.....	67
5.2.8 Contagem de partículas	69
5.2.9 Produção efetiva de água.....	73
5.3 TERCEIRA ETAPA	76
5.3.1 Influência das descargas de fundo e lavagens na qualidade física e bacteriológica da água produzida.....	76
5.3.2 Intermitência do funcionamento da ETA2	80
5.3.3 Caminhos preferenciais (curto circuitos).....	80
5.4 QUARTA ETAPA	82
5.4.1 Taxas de filtração.....	82
5.4.2 Coagulação e Qualidade dos efluentes	82
5.4.3 Perda de Carga.....	85
5.4.4 Qualidade bacteriológica do efluente	86
6 CONCLUSÕES	88
7 RECOMENDAÇÕES	90
7.1 GRANULOMETRIA DA AREIA E CAMADA SUPORTE	90
7.1.1 Filtros ascendentes.....	90

7.1.2 Filtros Descendentes.....	91
7.2 LAVAGEM DOS FILTROS.....	92
7.3 INJEÇÃO DE SULFATO DE ALUMÍNIO	94
7.4 DIVISÃO DA CÂMARA DE CARGA	95
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
9 ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - Comportamento da carreira de filtração com a realização de descargas de fundo intermediárias.....	06
FIGURA 3.2 - Distribuição de perdas de carga ao longo das alturas dos filtros, em função do tempo para as condições especificadas.....	08
FIGURA 3.3 - Relação entre turbidez e NMP/100ml de coliformes totais.....	09
FIGURA 3.4 - Variação da turbidez, perda de carga, NMP de coliformes totais e duração da carreira para as condições especificadas.....	12
FIGURA 3.5 - Variação da turbidez e pH dos efluentes durante o período de amadurecimento nos três filtros para diferentes taxas.....	13
FIGURA 3.6 - Período de amadurecimento dos filtros.....	14
FIGURA 3.7 - Diagrama de coagulação.....	18
FIGURA 3.8 - Curva de dosagem recomendada para a filtração direta.....	20
FIGURA 4.1 - Caixa niveladora com viga “T” para evitar a deformação do vertedor.....	31
FIGURA 4.2 - Local onde foi feita a medição de vazão no vertedor de saída.....	32
FIGURA 4.3 - Dispositivo confeccionado para a medida da expansão da areia.....	34
FIGURA 4.4 - Sistema para medição da perda do nível de água nos filtros ascendentes e câmara de carga.....	36
FIGURA 4.5 - Esquema de medição do nível de água nos filtros descendentes.....	37
FIGURA 4.6 - Pontos de coleta para verificação de caminhos preferenciais.....	40
FIGURA 4.7 - Vista externa do laboratório e da Instalação Piloto.....	41
FIGURA 5.1 - Vista geral da ETA e da casa de química.....	45
FIGURA 5.2 - Câmara de carga e unidades de filtração.....	46
FIGURA 5.3 - Tanques de preparação de coagulante.....	46
FIGURA 5.4 - Manifold de distribuição para alimentação dos filtros ascendentes.....	47
FIGURA 5.5 - Entrada dos filtros ascendentes.....	47
FIGURA 5.6 - Interligação entre os filtros ascendentes e descendentes.....	48
FIGURA 5.7 - Saída dos filtros descendentes (caixas providas de vertedores) reservatório elevado para distribuição de água e lavagem dos filtros.....	48

FIGURA 5.8 - Comparação entre as três curvas granulométricas dos filtros ascendentes.....	50
FIGURA 5.9- Comparação entre as curvas granulométricas dos filtros descendentes.....	51
FIGURA 5.10 - Esquema do reservatório elevado e dos filtros.....	53
FIGURA 5.11 - Vazamentos e tentativa de diminuição do mesmo.....	56
FIGURA 5.12 - Subida de flocos em direção a calha de coleta.....	57
FIGURA 5.13. - Turbidez da água bruta no período de 13/02/01 a 04/07/01.....	57
FIGURA 5.14 - Turbidez da água bruta e dos filtros ascendentes em relação à carreira do filtro descendente na unidade I.....	58
FIGURA 5.15 - Turbidez da água bruta e dos filtros ascendentes em relação à carreira do filtro descendente na unidade II.....	59
FIGURA 5.16 - Turbidez da água bruta e dos filtros ascendentes em relação à carreira do filtro descendente na unidade III.....	60
FIGURA 5.17 - Representação da porcentagem de ocorrência da turbidez entre as faixas no efluente dos filtros ascendentes.....	60
FIGURA 5.18 - Representação da porcentagem de ocorrência da turbidez entre as faixas.....	61
FIGURA 5.19 - Derivação de coleta de água coagulada.....	64
FIGURA 5.20 - Relação entre as expansões em (%) e a turbidez da água de lavagem através do tempo.....	66
FIGURA 5.21 - Relação entre as expansões em (%) e a turbidez da água de lavagem através do tempo.....	67
FIGURA 5.22 - Evolução típica da perda de carga.....	68
FIGURA 5.23 - Porcentagem remanescente de partículas na unidade I.....	70
FIGURA 5.24 - Porcentagem remanescente de partículas na unidade II.....	70
FIGURA 5.25 -Porcentagem remanescente de partículas na unidade III.....	70
FIGURA 5.26 - Distribuição de tamanho das partículas na água bruta.....	71
FIGURA 5.27 - Distribuição de tamanho de partículas remanescentes na unidade I.....	71
FIGURA 5.28 - Distribuição de tamanho de partículas remanescentes na unidade II.....	72

FIGURA 5.29 - Distribuição de tamanho de partículas remanescentes na unidade III.....	72
FIGURA 5.30 - Relações entre a produção total, gastos e produção efetiva.....	74
FIGURA 5.31 - Relações entre a produção total, gastos e produção efetiva.....	75
FIGURA 5.32 - Variação dos coliformes totais ao longo da carreira nos filtros ascendentes.....	78
FIGURA 5.33 - Variação do nº de <i>E. Coli</i> ao longo da carreira nos filtros ascendentes.....	79
FIGURA 5.34 - Variações das taxas nos filtros da ETA real e Instalação Piloto.....	82
FIGURA 5.35 - Variação da dosagem na instalação real e piloto.....	83
FIGURA 5.36 -Potencial zeta da água coagulada na ETA real e coagulada na instalação piloto.....	84
FIGURA 5.37 - Influência da coagulação na ETA real; e instalação piloto na turbidez do efluente dos filtros ascendentes.....	84
FIGURA 5.38 - Influência da coagulação na ETA real e instalação piloto dos efluentes dos filtros descendentes.....	85
FIGURA 7.1 - Perfil hidráulico atual da estação para as lavagens.....	92
FIGURA 7.2 - Solução 1 para a lavagens dos filtros.....	93
FIGURA 7.3 - Solução 2 para a lavagens dos filtros.....	93
FIGURA 7.4 - Sistema típico de injeção e mistura de coagulante em tubulações.....	94
FIGURA 7.5 - Situação atual de injeção e solução proposta.....	94
FIGURA 7.6 - Esquema para a divisão das câmaras individuais.....	95

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES.

cm.....	Centímetro
ETA2.....	Estação de tratamento de água com sistema de dupla filtração
FDA.....	Filtração Direta Ascendente
FRD.....	Filtração Rápida Descendente
L.....	Litro
m.....	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg.....	Miligrama
mL.....	Mililitro
µm.....	Micrometro
mv.....	Milivolt
NMP.....	Número mais provável
pH.....	Potencial hidrogênioônico
UC.....	Unidade de cor
UT.....	Unidade de turbidez
UDF.....	Unidade de Dupla Filtração
FA.....	Filtro Ascendente
FD.....	Filtro descendente
SAAE.....	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Carlos

RESUMO

SALDANHA, J. R. (2002) *Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água com sistema de dupla filtração, em escala real*. São Carlos, 2002, 209 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A tecnologia de tratamento com dupla filtração encontra-se em estágio relativamente elevado de desenvolvimento, porém, ainda são poucos os dados de operação em escala real. Este trabalho teve como objetivo avaliar um sistema de dupla filtração em escala real (ETA2) para tratamento de água, do serviço autônomo de água e esgoto da cidade de São Carlos – SP, que trata água bruta proveniente do Ribeirão do Feijão e é constituída de três unidades de filtração cada uma contendo um filtro ascendente e um descendente. Em uma primeira etapa foram levantadas as medidas das unidades de dupla filtração, caracterizado o material filtrante e avaliadas as condições operacionais da ETA 2. Posteriormente, foi estudada a situação geral da ETA por meio de diversos parâmetros (turbidez, pH, expansão da areia na lavagem, contagem de partículas, de coliformes totais e *Escherichia. coli*), para verificar os principais problemas. Em seguida, realizou-se uma comparação da ETA2 com uma Instalação Piloto de Dupla Filtração. Este trabalho permitiu concluir principalmente que: i) devido às baixas taxas de filtração das unidades filtrantes da ETA2, excessivas dosagens de coagulante e falta de controle das lavagens, geralmente foi baixa a produção efetiva de água (em torno de 90%); ii) o desempenho, algumas vezes insatisfatório das unidades de filtração ascendente e descendente, deveu-se principalmente à ineficiência da mistura de coagulante na água bruta, falta de areia nos filtros ascendentes e à diferença de granulometria nos filtros descendentes; iii) o desenvolvimento da perda de carga nos filtros ascendentes da ETA2 foi mais acentuado que na Instalação Piloto devido à mistura de seus materiais filtrantes.

Palavras-chave: tratamento de água para abastecimento, dupla filtração, filtração direta ascendente em areia, operação de estações de dupla filtração

ABSTRACT

SALDANHA, J., R. (2002) Evaluation of the performance of the water treatment station with a double filtration system in real scale. São Carlos, 2002, 209p Dissertation (grade master) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo.

Water treatment by means of a double filtration system is in a relatively high stage of development, however, there are still few data on real scale operations. The aim of this work was to evaluate a double filtration system in a real scale (ETA2) for the treatment of water, of the autonomous service of water and sewer of the city of São Carlos – SP, which treats water from the Ribeirão do Feijão (name of a local river), and is constituted of three filtration units, each a contain a direct up-flow sand filter, and a rapid filter. In the first stage, the sand of the filters was characterized, and the operational conditions of the ETA2 were evaluated. Next, the general situation of the ETA was studied by means of several parameters (turbidity, pH, expansion of the sand during washing process, counting of particles, total coliforms and *Escherichia coli*), in a order to detect the main problems. Finally, a confrontation between the ETA2 an a double filtration pilot Plant was carried through. This study made infer that: I) due to the low filtration rates of the ETA2's filtration units, excessive doses of coagulant and lack of control of the washings, the actual production of water was low (around 90 %); ii) the sometimes insufficient performance of the direct up-flow sand filtration and rapid filtration systems was mainly caused by an inefficient mixing of the coagulant with the natural water, lack of sand in direct up-flow filters ; iii) the building up of the loss of cargo in the direct up-flow san filtration in filters of the ETA2 was more accentuated than in the Pilot Plant due to the mixture of the filtration materials.

Key words: drinking water production, two-stage filtration; direct up-flow sand filtration, operation of double filtration plants

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com o aumento da degradação dos recursos hídricos e conseqüente escassez dos mananciais de superfície destinados ao abastecimento público, têm sido buscadas tecnologias alternativas apropriadas às necessidades da população, de modo a produzir água dentro dos padrões de potabilidade e com custos reduzidos. Dentre estas tecnologias, destaca-se a filtração direta ascendente. DI BERNARDO (2001) estima que existe no Brasil, entre 300 e 500 instalações desse tipo, que produzem água que atende ao padrões de potabilidade.

Comparada às estações de tratamento convencionais, a filtração direta ascendente apresenta as seguintes vantagens : menor investimento com obras civis e equipamentos; menor custo de operação e manutenção; menor área para implantação e redução significativa na quantidade de coagulante utilizado no processo de tratamento. No entanto, a utilização desta tecnologia de tratamento apresenta limitações à qualidade da água bruta, quanto às suas características físicas (turbidez e cor verdadeira) e microbiológica (algas e coliformes) e presença de organismos resistentes à desinfecção.

Para superar essas limitações, após um filtro ascendente, tem sido usado um filtro descendente, sistema conhecido como dupla filtração. No entanto ainda faltam dados experimentais, em escala real, sobre um sistema dessa natureza.

2 OBJETIVOS

Foi estabelecido como objetivo precípua deste trabalho avaliar o desempenho de uma estação de tratamento de água (ETA2 do sistema de abastecimento de São Carlos) com sistema de dupla filtração e capacidade de 50 L/s, que trata água proveniente de manancial superficial com qualidade variável. Para tanto foram feitos:

- Levantamento das unidades da ETA 2;
- Caracterização do meio filtrante das unidades;
- Verificação do funcionamento dos sistemas de dosagem de coagulante e alcalinizante;
- Levantamento de dados de qualidade da água bruta, água pré-filtrada e água filtrada;
- Medição da perda de carga e observação de sua evolução nos filtros ascendentes e descendentes com e sem a execução de descargas de fundo intermediárias nos filtros ascendentes;
- Verificação da vazão de funcionamento dos filtros de cada uma das três unidades que compõem a ETA2;
- Medição da vazão da água de lavagem e avaliação da qualidade da água de lavagem;
- Avaliação da qualidade operacional da ETA;
- Comparação da ETA 2 com a Instalação Piloto Dupla Filtração.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Filtração direta ascendente

A filtração direta ascendente consiste na passagem de água com escoamento em sentido ascendente, sem necessidade de floculação ou decantação à montante, por um filtro geralmente constituído de duas camadas superpostas, uma inferior (denominada camada suporte) com 0,60 a 0,80 m de espessura que contem pedregulho e outra superior com areia, com 1,6 a 2,0 m de espessura (MEGDA,1999).

Na filtração direta ascendente a quantidade de coagulante necessária é bem menor que no caso de uso de decantadores; como a filtração ocorre no sentido decrescente da granulometria, a floculação acontece na camada suporte com retenção de grande parte das impurezas na mesma.

O conceito de filtração ascendente é estudado há muito tempo; posto em prática pela primeira vez pelo médico italiano Porzio, por volta de 1685, que utilizou um filtro com escoamento ascendente para o tratamento da água (DI BERNARDO, 1993).

De acordo com DI BERNARDO (1993a), a filtração ascendente somente em meados do século XX passou a ser difundida, na Holanda e notadamente na ex União Soviética com o desenvolvimento dos “clarificadores de contato” conhecidos como filtros russos, que foram utilizados em grandes cidades como Moscou, São Petesburgo e Kiev. A clarificação de contato representou grande avanço, pois a

coagulação e floculação foram combinadas em um único processo com adição do coagulante químico à água bruta antes dela passar pelo filtro de camada suporte e areia em sentido ascendente. Ademais, a boa distribuição da água na base do filtro pelo sistema de *manifold* e a lavagem em sentido ascendente, com taxas mais elevadas que as utilizadas normalmente garantiam a eficiência do processo, e permitiram tratar água com turbidez de até 150 uT com taxas de até 150 m³/m² dia.

Esse limite de 150 m³/m².dia levou ao desenvolvimento do filtro “AKX” na URSS e do “Inmedium” na Holanda. Os filtros “AKX” utilizavam o princípio de aplicação de água coagulada tanto na parte inferior como na superior da camada filtrante, com água coletada no interior da camada filtrante. Já o filtro “Inmedium”, apresentado por SMIT (1963), usava um sistema de malhas de placas verticais paralelas abaixo do topo da camada de areia para evitar sua expansão (DI BERNARDO, 1993a).

No Brasil, a filtração direta ascendente foi introduzida no final da década de 60 conforme relatado por GRIMPLASTCH (1971) e as primeiras estações que utilizaram essa tecnologia foram construídas em Colatina (ES) e Ponta Grossa (PR).

Mas somente a partir de 1977, como afirma TEIXEIRA (1986), é que surgiram os primeiros trabalhos de cunho científico como o apresentado por ARBOLEDA (1977) no 9º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Nesse trabalho ele discutiu diversos aspectos de projeto e operação da filtração ascendente, comentou diferenças hidráulicas entre filtração ascendente e descendente e afirmou existir, nos filtros descendentes, a tendência de a areia compactar-se e nos filtros ascendentes a areia expandir-se; e haver - como consequência - a fluidificação parcial da camada superior do meio filtrante. Ou seja, à medida que as camadas superiores do meio do leito filtrante vão se colmatando, a velocidade intersticial aumenta e a força de atrito criada pelo fluxo pode chegar a superar o peso dos grãos. Nesse momento, o meio filtrante se expande e libera parte dos sólidos acumulados no interior dos filtros ocasionando deterioração da qualidade dos efluentes.

Nesse mesmo ano RICHTER (1977) apud ISAAC (1997) considerou que na filtração ascendente, “a deposição de flocos e a perda de carga são distribuídos uniformemente através do leito filtrante. À medida que prossegue a filtração, pode haver um momento em que ocorre a fluidificação do leito.”. O autor comentou que o leito filtrante é constituído normalmente de uma camada de areia preparada com tamanho efetivo de 0,8mm, coeficiente de “uniformidade” em torno de 1,7 e “peso específico” igual ou superior a 2,65 kg / L, resultando diâmetro mínimo do leito filtrante de 0,7mm e máximo de 2mm. Ele relatou também a fluidificação na capa superior do leito filtrante, com o filtro limpo, ocorreu com velocidade igual a 750 m³/m².dia.

Mesmo assim no Brasil a tecnologia da filtração direta ascendente evoluiu muito pouco até o início dos anos 80; até então os parâmetros recomendados baseavam-se em estudos decorrentes de investigações realizadas em outros países que, muitas vezes, não se adaptavam às condições brasileiras.

Para adaptar a filtração ascendente às condições brasileiras, através de trabalho experimental, DI BERNARDO et al (1982) comprovaram que a água sobre o topo do meio filtrante não influí na qualidade da água filtrada mesmo quando a lâmina era da ordem de 0,35m, e que a lâmina maior (1,75m) apenas torna mais difícil a lavagem.. Verificaram, também, que a camada suporte remove entre 20% e 80% da turbidez da água afluyente e que o filtro, após algum tempo de funcionamento, sob variações repentinas na qualidade da água bruta, não sofre qualquer influência na qualidade de sua água filtrada. Entretanto a granulometria da areia mostrou ter grande influência na filtração ascendente, na perda de carga e na qualidade da água produzida.

A partir deste estudo DI BERNARDO & RAZABONI (1984) realizaram trabalho experimental para investigar a influência da realização de descargas de fundo intermediárias no comportamento de sistemas de filtração direta ascendente, junto à camada suporte, bem como a influência da utilização do amido de batata na qualidade do efluente e na duração da carreira. Com relação às descargas de fundo

intermediárias, os autores concluíram que as mesmas proporcionavam grande recuperação hidráulica e, como consequência, aumento das carreiras de filtração-embora fossem observados picos de turbidez no efluente dos filtros ascendentes, causados por descargas de fundo intermediárias (FIGURA 3.1). Já a utilização do amido de batata atenuou as perturbações causadas pelas descargas de fundo intermediárias, porém, as carreiras de filtração foram mais curtas em relação ao filtro em que esse polímero natural não foi usado.

Fonte: DI BERNARDO, RAZABONI (1984)

FIGURA 3.1 – Comportamento da carreira de filtração com a realização de descargas de fundo intermediárias.

Comprovada a grande influência da camada suporte TEIXEIRA (1986) estudou a influência das características da referida camada e da areia no processo da filtração direta ascendente, com operação de três filtros pilotos (F1, F2 e F3) em paralelo, que possuíam a mesma espessura total 2,4 m (TABELA 3.1).

TABELA 3.1 – Características das camadas suporte e areia.

FILTRO	CAMADA SUPORTE		CAMADA DE AREIA			
	espessura (cm)	tamanho (mm)	espessura (cm)	tamanho (mm)	tamanho efetivo (mm)	coeficiente de desuniformidade
F1	10,0	31,7 – 25,4	200	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	7,5	24,4 – 15,9				
	7,5	15,9 – 9,5				
	7,5	9,5 – 4,8				
	7,5	4,8 – 2,0				
	total = 40					
F2	15,0	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	15,0	24,4 – 15,9				
	15,0	15,9 – 9,5				
	17,5	9,5 – 4,8				
	17,5	4,8 – 2,0				
	total = 80					
F3	20,0	31,7 – 25,4	120	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	20,0	24,4 – 15,9				
	20,0	15,9 – 9,5				
	30,0	9,5 – 4,8				
	30,0	4,8 – 2,0				
	total = 120					

Fonte: TEIXEIRA (1986)

Suas principais conclusões foram:

- A utilização de camadas de areia de 2,0, 1,6 e 1,2 m de espessura, com camadas suporte de, respectivamente, 40, 80 e 120cm, levou à produção de água com baixos valores de turbidez, da ordem de 0,10 a 0,20 uT;
- As perdas de carga aumentaram mais lentamente nos filtros com camadas suporte maiores;
- As maiores perdas de carga e remoções de turbidez foram registradas na interface entre a camada suporte e a areia, e na porção imediatamente superior a esta (ver FIGURA 3.2);
- A realização de descargas de fundo proporcionou recuperação hidráulica devido à retirada parcial das impurezas retidas na camada suporte e no início da camada de areia;

TEIXEIRA (1986) diz que na filtração direta ascendente a camada de areia não deveria ter espessura inferior a 1,60 m e que a camada suporte com 0,80 m de espessura é a mais apropriada.

Fonte: DI BERNARDO, TEIXEIRA (1986)

FIGURA 3.2 – Distribuição de perdas de carga ao longo das alturas dos filtros, em função do tempo, para as condições especificadas.

Nesse mesmo trabalho o autor demonstrou a eficiência da filtração direta ascendente na remoção de microrganismos quando eram produzidos efluentes de

baixa turbidez e verificou existir grande relação entre turbidez e Número Mais Provável (NMP) de coliformes (FIGURA 3.3).

Fonte: DI BERNARDO & TEIXEIRA (1986)

FIGURA 3.3 – Relação entre turbidez e NMP/100ml de coliformes totais.

Posteriormente, para confirmar a ocorrência de picos de turbidez com conseqüente presença de microrganismos, que comprometem a qualidade do efluente, DI BERNARDO & PATERNIANI (1986) estudaram os efeitos das descargas de fundo na qualidade bacteriológica do efluente produzido e suas influências na eficiência de remoção de microrganismos. Foi utilizada uma instalação piloto constituída por dois filtros operados com taxa de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, que recebiam afluentes com coliformes variando de 200 a 10.000 coli/100ml. Em um dos filtros não foi realizada descarga de fundo enquanto no outro realizaram-se 1, 2, 4, 6 e 8 descargas. Os autores concluíram que:

- Como era de se esperar, as descargas de fundo intermediárias promoveram aumento diretamente proporcional ao número de descargas na carreira de filtração;

- Do ponto de vista bacteriológico, as descargas de fundo foram prejudiciais ao sistema, no entanto, em alguns casos, o número de microrganismos diminuiu com as descargas de fundo;
- Melhores resultados foram obtidos com realização de descargas mais próximas uma das outras e próximas do início da carreira de filtração;
- Quanto maior o número de NMP/100ml no afluente, maior o prejuízo causado pelas descargas de fundo à qualidade bacteriológica do filtrado.

Baseados em trabalhos anteriores DI BERNARDO & FERNANDES (1987) utilizando água coagulada com dosagem de sulfato de alumínio determinada a partir da filtração em papel Whatman 40, avaliaram a inversão da camada suporte na interface, ou seja, após a subcamada de pedregulho mais fino, colocaram outras de granulometria maior para ,com isso, tentar criar transição mais suave na interface areia-pedregulho (TABELA 3.2).

TABELA 3.2 – Características das camadas suporte e areia.

	CAMADA SUPORTE		CAMADA DE AREIA			
FILTRO	espessura (cm)	tamanho (mm)	espessura (cm)	tamanho (mm)	tamanho efetivo (mm)	coeficiente de desuniformidade
F1	15	31,7 – 24,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	15	24,4 – 15,9				
	15	15,9 – 9,5				
	17,5	9,5 – 4,8				
	17,5	4,8 – 2,4				
	total = 80					
F2	10	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	10	24,4 – 15,9				
	10	15,9 – 9,5				
	15	9,5 - 4,8				
	20	4,8 – 2,4				
	15	9,5 – 4,8				
total =80						
F3	7,5	31,7 – 25,4	160	0,59 a 1,68	0,85	1,6
	7,5	25,4 – 15,9				
	10	15,9 – 9,5				
	12,5	9,5 – 4,8				
	20	4,8 – 2,4				
	12,5	9,5 – 4,8				
	10	15,9 – 9,5				
total = 80						

Fonte: DI BERNARDO, FERNANDES (1987)

Os autores avaliaram o método apropriado de introdução de água na interface durante as descargas de fundo intermediárias e concluíram que:

- A inversão de subcamadas de pedregulho de tamanho maior, sobre a de pedregulho mais fino, conduz à obtenção de melhores resultados, uma vez que, essa disposição, diminuiu a porosidade do pedregulho, aumentou a da areia e atenuou os efeitos da compactação causados pela execução das descargas de fundo;
- A transferência de água da parte superior do filtro para a interface, por ocasião da realização de descargas intermediárias, reduziu microrganismos e picos de turbidez que, comumente, ocorriam quando as mesmas eram efetuadas simplesmente pelo desvio do afluente e abertura da válvula do fundo do filtro;
- Dentre os diversos métodos para realizar as descargas de fundo intermediárias, os melhores resultados foram obtidos com introdução, no sistema de neutralização de cargas de água de fonte externa, , que produziu carreiras mais longas e efluentes de melhor qualidade (picos menores de turbidez e coliformes).

A seguir DI BERNARDO & YATSUGAFU (1987) estudaram a influência da taxa de filtração e o número de descargas de fundo intermediárias na eficiência da filtração ascendente em relação, principalmente, aos picos de turbidez e de coliformes, operando dois filtros pilotos, um sem e outro com execução de descargas de fundo intermediárias com taxas de filtração de 160, 200, 240 e 280 m³/m².dia. Como afluente, foi utilizada água coagulada da ETASC (ETA I São Carlos) com coliformes totais que variaram entre 100 e 200, 1000 e 10000, e 5000 e 15000. As principais conclusões foram:

- A execução de número maior de descargas de fundo (até 16) atenuou os picos de turbidez devido à execução das descargas de fundo;
- Quanto maior foi o número de descargas de fundo, mais longa a carreira de filtração;

- Quando da realização da descarga de fundo, houve deterioração da qualidade bacteriológica da água, principalmente se a carreira estava próxima do final (ver FIGURA 3.4);
- A qualidade do efluente não foi grandemente influenciada pela taxa;
- Em efluente com turbidez entre 0,5 e 7,5 uT, para uma boa desinfecção com cloro na dosagem de 1mg/L a 2 mg/L, foi necessário tempo de contato entre 30 e 60 minutos.

Fonte: DI BERNARDO & YATSUGAFU (1987)

FIGURA 3.4— Variação de turbidez, perda de carga, NMP de coliformes totais e duração da carreira para as condições especificadas.

Através de considerações teóricas e de dados experimentais, até então, disponíveis na literatura, CRUZ VELEZ (1993) com instalação piloto constituída de três filtros, estudou a viabilidade do uso de taxas de filtração acima daquelas normalmente recomendadas com taxas de filtração de 160 até 480 m³/m².dia, no tratamento de água com turbidez e cor aparente inferiores a 30 uT e 120 uC, respectivamente, e chegou as seguintes conclusões:

- Depois do período de amadurecimento do filtro, em relação à cor aparente e turbidez, a qualidade da água filtrada atendeu aos padrões de potabilidade, independente da taxa de filtração utilizada;
- Após o período inicial de amadurecimento, em relação à presença de bactérias, a água apresentou condições favoráveis à obtenção de desinfecção eficiente;
- A duração do período de amadurecimento na filtração direta ascendente está diretamente relacionada à dosagem de coagulante e à taxa de filtração utilizadas, ressaltando que, nesse período, o uso de água tratada para lavagem dos filtros, de início, geralmente eleva o pH do efluente no início (ver FIGURA 3.5);
- Em relação à fluidificação da camada de areia utilizada no experimento, não foi constatado risco algum de ocorrência desse fenômeno, até mesmo à taxa de $900 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$.

Fonte: CRUZ VÉLEZ (1993)

FIGURA 3.5 – Variação da turbidez e pH dos efluentes durante o período de amadurecimento nos três filtros para diferentes taxas.

Ainda nesse trabalho, o autor descreveu o fenômeno de início de funcionamento dos filtros ascendentes, e propôs o seguinte comportamento para caracterizar as fases do período de amadurecimento dos filtros ascendentes (FIGURA 3.6).

Fonte: CRUZ VÉLEZ (1993)

FIGURA 3.6 – Período de amadurecimento dos filtros.

O período de amadurecimento é constituído basicamente de duas fases:

1º fase - caracterizada por um pico, na qual a qualidade do efluente é função da eficiência obtida na lavagem do filtro e ocasionada pela água de lavagem remanescente no filtro.

2º fase – caracterizada por outro pico; nesse estágio a qualidade do efluente depende da qualidade da água bruta, da dosagem de coagulante, da taxa de filtração e

de partículas aderidas aos grãos dos meios granulares que não foram retiradas durante a lavagem.

Após isso, com o objetivo de verificar a influência das descargas de fundo intermediárias na filtração direta ascendente de alta taxa, LARA PINTO (1994) realizou investigação experimental em instalação piloto constituída de três filtros com areia e pedregulho de mesmas características granulométricas, operados em paralelo com taxas entre 240 e 480 m³/m².dia e concluiu que:

- Após o período de amadurecimento, a filtração direta ascendente produziu efluentes de boa qualidade, mesmo quando ocorreram oscilações da turbidez afluyente;
- Em todos os ensaios, devido à recuperação de carga, a execução de descargas de fundo intermediárias, proporcionou aumento significativo nas durações das carreiras de filtração, sem prejuízo à qualidade do efluente;
- Para todas as taxas acima de 240 m³/m².dia a realização de descargas de fundo no final da carreira de filtração, ocasionou boa recuperação da carga hidráulica, acarretando carreiras com duração mais longa que a do filtro com duas descargas de fundo intermediárias;
- Em nenhum dos ensaios foram observadas rupturas na interface nem tendência ao transpasse; houve grande retenção na camada suporte e nos primeiros 40 cm ou em 25 % da camada de areia no sentido do escoamento e a camada superior da areia trabalhou muito pouco nessa retenção;
- Independente da taxa de filtração, a concentração de microrganismos após as descargas, foi inferior aos limites de potabilidade, sem comprometer a desinfecção.

Posteriormente, DI BERNARDO & ISAAC (1997) usaram uma estação piloto constituída de 6 filtros, preenchidos com o mesmo tipo de areia (tamanho dos grãos de 0,59 a 2,00 mm, tamanho efetivo de 0,84mm, Cd = 1,6 e espessura de 1,95m) e camada suporte (espessura de 0,60m e tamanho dos grãos de 2,4 a 31,7 mm). A areia foi disposta dentro do filtro F1 totalmente estratificada e totalmente

misturada no filtro F6; nos demais filtros a areia foi posta totalmente misturada. Antes de iniciar da a investigação foram produzidas diferentes níveis de expansão para que os filtros tivessem diferentes níveis de mistura (80% em F2, 65% em F3, 50% em F4 e 35% em F5); a água foi coagulada no sistema de neutralização de cargas com sulfato de alumínio e as taxas variaram de 240 a 520 m³/m².dia. Para água com turbidez e cor inferior a 30uT 120 uC ,respectivamente, os autores apresentaram varias conclusões:

A respeito da disposição inicial da areia nos filtros, quanto a mistura e estratificação:

- Constataram que ocorreu grande mistura dos grãos de areia de todos os tamanhos, independentemente dos mesmos inicialmente serem dispostos nos filtros em condição de estratificação ou de mistura completa; contudo, a mistura não era total, com frações crescentes dos grãos menores da porção inferior até a porção superior da camada, mas com diferenças entre os filtros;
- A mistura aconteceu durante a lavagem simultânea com ar e água, recomendada na literatura como única forma eficiente para provocar a limpeza efetiva do meio granular;
- Para a granulometria da areia empregada não foi detectada a fluidificação dos grãos mais finos para taxas de até 520 m³/m².dia;
- Após atingir a condição de fluidificação total, em todos os meios granulares independentemente da disposição inicial iguala-se a perda de carga, que se torna numericamente igual ao peso da camada submersa.

Com relação à a disposição dos grãos no processo de filtração direta ascendente:

- Após a etapa inicial, quanto de turbidez e a cor aparente, a qualidade da água filtrada satisfaz o padrão de potabilidade dado pela portaria 36/GM, independentemente da disposição inicial dos grãos de areia, e da taxa estudada;

- A qualidade da água filtrada, avaliada em termos de coliformes totais, devido a baixa turbidez não apresentou diferenças entre o meio granular menos misturado e aqueles meios mais misturados, indicando condições favoráveis à desinfecção eficiente;
- Foi constatado que ,durante a filtração a retenção de impurezas, ocorre na camada de pedregulho e, principalmente, na porção inferior da camada de areia (25% da espessura); contudo, para o tamanho e disposição dos grãos de pedregulho utilizados, a retenção foi menor que aquela indicada na literatura;
- Foi constatada sensibilidade da filtração direta ascendente à coagulação química, o que é fundamental para a não ocorrência do transpasse da turbidez, independente da disposição inicial e final dos grãos, para todas as taxas de filtração estudadas.

Recentemente, com dados secundários, HELLER et al (1999) avaliaram a eficiência e aplicabilidade do processo de filtração direta ascendente no tratamento de água. Os autores utilizaram dados de seis Estações de Tratamento de Água operadas pela COPASA – MG, nas quais, através de análise computacional gráfica e estatística dos parâmetros de turbidez e cor aparente, avaliaram o comportamento dos filtros, delineando sua aplicabilidade e limitações em atendimento a Portaria 36/90. Eles concluíram que ,em relação a turbidez e cor aparente, o desempenho operacional das instalações estudadas, não ultrapassou o valor recomendado pela portaria 36/90 de 1,0 uT e de 5uC para água tratada que entra no sistema de distribuição, e para água bruta o valor de até 980 uT

3.2 Coagulação na filtração ascendente e dupla filtração

Coagulação é o processo de adição de coagulantes (substâncias químicas), que provoca a desestabilização das partículas coloidais e supera com isso suas barreiras de repulsão para serem retidas no processo de filtração.

Mais tarde os mesmos autores, conforme citado por ISSAC (1997) testaram o uso do diagrama para a remoção da turbidez: Para determinar as diferentes regiões do diagrama, promoveram a coagulação de uma suspensão coloidal em diferentes condições de pH e dosagem de sulfato de alumínio, e variaram a turbidez inicial de 17 a 27 uT e o pH de 4,0 a 9,0. Com dosagem de 4,75 mg/L de sulfato de alumínio no diagrama de coagulação e com pH 7,0, o ponto obtido localizou-se na região de adsorção-desestabilização ao redor da zona de restabilização; o potencial zeta tendendo a zero confirmou este fato. Constataram também a clara superioridade da mistura rápida instantânea ($T = 1s$) e de alta intensidade ($G = 16000s^{-1}$) em relação as outras condições. Verificaram também que na filtração direta a coagulação na região corona (região de carga neutra) é a mais indicada.

Mesmo assim diversos trabalhos científicos realizados até meados da década de oitenta, como o de TEIXEIRA e PATERNIANI, utilizaram água coagulada no sistema da varredura para experimentos relativos à filtração ascendente. Isso se deu apesar de ARBOLEDA (1973) apud CRUZ VELEZ (1993), haver citado que Shull já reportava ter encontrado, na prática, dosagens perto de 30% da dosagem ótima determinada nos ensaios de floculação (Jar test), que conduzia a melhores resultados durante a filtração direta, apesar de serem cada vez piores os resultados obtidos nos ensaios de floculação em reatores estáticos.

Consciente da necessidade de otimizar o processo de filtração ascendente através da redução racional do coagulante, MENDES (1985) trabalhou com uma instalação de filtração ascendente composta de dois filtros em paralelo, com taxas compreendidas entre 120 e 240 m³/m².dia. Aplicando em um dos filtros água coagulada na varredura e em outro, água coagulada com redução da dosagem de sulfato de alumínio em 25, 50 e 70% e concluiu que:

- O desempenho dos filtros ascendentes era melhor com dosagens de sulfato de alumínio menores que as usuais nas estações de tratamento completo;
- As dosagens utilizadas nas estações de tratamento de água não eram ideais pois resultavam em carreiras muito reduzidas;

- As durações das carreiras eram inversamente proporcional à dosagem de sulfato de alumínio na faixa de dosagens estudadas;
- O pH de coagulação que otimiza o sistema de Filtração direta ascendente era inferior ao utilizado para a floculação nos sistemas convencionais;
- Em função da alcalinidade da água bruta, não era necessário o uso da cal no processo de coagulação durante a realização.

No sistema de dupla filtração geralmente é usado o mecanismo de neutralização de cargas para a coagulação da água bruta e a filtração ascendente operada com descargas de fundo intermediárias, introduzindo-se água na interface (DI BERNARDO, 1993a).

Segundo DI BERNARDO (2001) em filtração direta, as dosagens dosagens de coagulantes devem ser feitas utilizando-se papel filtro Whatman 40, filtro de laboratório ou filtro piloto. Em ensaio de filtração com variação de dosagem de coagulante, o autor determinou a faixa de dosagem recomendada para as características da água usada no ensaio, para a produção de água filtrada com turbidez menor que 1uT (FIGURA 3.8).

Fonte: DI BERNARDO (2001)

FIGURA 3.8 – Curva de dosagem recomendada para a filtração direta para água estudada.

3.3 Filtração Rápida Descendente

Na dupla filtração como tratamento complementar, normalmente, é utilizada a filtração rápida descendente, para remover impurezas não retidas na filtração direta ascendente. Consiste na passagem de água no sentido descendente, através de meio filtrante de areia e/ou antracito, normalmente constituído de camada única de areia com grãos de 0,42 a 1,41 mm e espessura de 0,6 a 0,8 m (MEGDA, 1999).

Segundo FOX & LEKKAST, apud MEGDA (1999), a areia utilizada em filtros rápidos não deve ter coeficiente de desuniformidade maior que 2,0 e, se possível, esse valor deve estar próximo de 1,5, com tamanho efetivo entre 0,7 e 2,0 mm, conforme a taxa de filtração aplicada.

O aumento da compactação de impurezas retidas no topo da camada filtrante durante a filtração, eleva a taxa de perda de carga com conseqüente redução da carreira de filtração. Quando o meio filtrante é constituído de granulometria fina, o efluente é de boa qualidade mas com curtas carreiras de filtração. Se o meio é constituído de granulometria grossa, as carreiras de filtração têm maior duração, porém, com efluente de qualidade inferior.

A lavagem do meio filtrante consiste na introdução de água no sentido ascendente em alta velocidade - 60 a 80 cm/min - durante um período de 7 a 10 min, com o objetivo de provocar a fluidificação e conseqüente expansão do meio granular (15% a 30%) para liberar as impurezas retidas, que então, são removidas pelo escoamento da água (MEGDA, 1999).

Durante a filtração, em qualquer instante, a resistência total do filtro à passagem deve ser igual à carga hidráulica disponível. A resistência total à filtração é igual à soma da perda de carga no meio filtrante (laminar) com as perdas na comporta de entrada, no sistema de drenagem, em tubulações e acessórios (turbulentas). Os filtros de uma estação de tratamento de água podem operar com carga hidráulica disponível, constante ou variável; a resistência total à filtração

também pode ser mantida constante ou variável. A taxa de filtração é proporcional à razão entre a carga hidráulica disponível e resistência total à filtração (MEGDA, 1999).

3.4 Dupla Filtração

Dupla filtração é a utilização da filtração direta ascendente como pré tratamento da filtração descendente. A água coagulada inicialmente passa pelo filtro ascendente que contém meio filtrante com granulometria adequada à produção de água filtrada com turbidez menor que 10 uT; em seguida da é submetida à filtração descendente (DI BERNARDO, 1999).

Segundo DI BERNARDO (2001) as principais vantagens da dupla filtração em relação à filtração direta ascendente são:

- permitir o tratamento de água de qualidade inferior;
- possibilitar o uso de taxas de filtração mais elevadas;
- oferecer maior segurança do ponto de vista operacional, em relação às variações bruscas de qualidade da água bruta;
- levar à maior remoção global de microrganismos, com aumento da segurança em relação à desinfecção final;
- não ser necessário descartar água filtrada do filtro ascendente, no início da carreira, pois a água será filtrada no filtro descendente.

Segundo o mesmo autor, a principal desvantagem da dupla filtração em relação à filtração ascendente está relacionada aos custos de implantação, operação e manutenção.

DI BERNARDO (1999) comenta que “em estações maiores os dois tipos de filtros são construídos em baterias separadas, podendo a filtração ascendente funcionar com taxa constante e a descendente com taxa declinante. No entanto, para

instalações menores, é conveniente projetar os filtros em uma só unidade, reduzindo o número de válvulas e de peças especiais, e facilitando a operação”.

AZEVEDO NETO e DI BERNARDO (1974) apresentaram alguns resultados da dupla filtração em estação piloto usando taxas de filtração de 120 a 140 m/dia em ambos os filtros, tanto no ascendente como no descendente. Na estação piloto como afluente foi usada água superficial com as seguintes características: turbidez entre 7 e 25 NTU, coliformes totais entre 870 e 3163 NMP/100ml; cor aparente entre 20 e 60 uC. Os autores concluíram que independentemente da taxa de filtração estudada, pode ser obtida água de alta qualidade.

DI BERNARDO (1993a) sugere critérios de projeto para taxas de filtração entre 200 e 300 m³/m².dia, para ambos os tipos de filtros (Tabela 3.3).

TABELA 3.3 – Critérios de projeto para a camada de areia dos filtros

Unidade de Filtração	Tamanho dos Grãos (mm)	Tamanho Efetivo (mm)	Espessura (m)	Método de Operação
FDA	0,71 – 2,38	0,9 – 1,2	1,2 – 1,6	TC* e DFI**
FRD	0,42 – 1,41	0,45 – 0,55	0,6 – 0,7	TC ou TD ***

Fonte: DI BERNARDO (1993a)

*TC = taxa constante

**DFI = descarga de fundo intermediária

***TD = taxa declinante

DA CUNHA H.R. & STORTI (1991) avaliaram as potencialidades do tratamento de água por dupla filtração ETA / Aparecida do Taboado, que trata 40 L/s, de água bruta com turbidez de 11+-2 uT e cor de 22+- 5 uC e produzia água com turbidez e cor nos padrões da portaria 1469, com dosagem média de 6 mg/L de sulfato de alumínio bruto. Eles concluíram que a dupla filtração, é um processo bastante seguro em relação à qualidade da água tratada, de simples operação, e satisfaz, plenamente, os requisitos para abastecimento público de pequenas e médias cidades.

Nesse mesmo trabalho os autores comentaram que “as inovações tecnológicas introduzidas ampliam a potencialidade da dupla filtração, tornando o processo particularmente mais versátil para tratar águas de turbidez elevada, sem comprometer o baixo custo e a simplicidade desse sistema de tratamento”

Recentemente têm sido feitos trabalhos acerca da utilização da filtração ascendente com pedregulho, como pré tratamento à filtração rápida descendente. CRUZ VELEZ (1998) estudou a performance da filtração direta ascendente em pedregulho para taxas de $72 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $144 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Foram usadas, quatro subcamadas de pedregulho de 0,30m cada (com tamanho variando de 38mm no fundo até 2,4mm no topo). Como afluente do filtro foi usado efluente de filtro dinâmico; após a coagulação com sulfato de alumínio, a turbidez da água afluente variou de 150 a 200 NTU. Para perda de carga de 0,4m no pedregulho, o efluente produzido apresentou turbidez abaixo de 5 NTU para ambas as taxas de filtração.

MEGDA em 1999 no estudo da filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente, utilizou uma instalação piloto constituída por dois filtros, um filtro ascendente que possuía quatro subcamadas de pedregulho, com tamanho variando entre 31,7 e 2,4mm e espessura total de 1,20m, seguido de um filtro descendente constituído unicamente de areia (tamanho dos grãos entre 0,42 e 1,41mm, tamanho efetivo de 0,54mm e coeficiente de desuniformidade igual a 1,57), com espessura de 0,70m. As taxas variaram entre 12 e $115 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no filtro ascendente de pedregulho, permaneceram constante em $250 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ no filtro descendente de areia. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio e a turbidez da água bruta variou de 6 a 71 uT.

Foram suas principais conclusões:

- O filtro ascendente em pedregulho demonstrou capacidade de absorver picos de turbidez;
- Em relação à remoção de turbidez, cor aparente, ferro, manganês, coliformes totais e fecais, a eficiência global do sistema de dupla filtração, foi praticamente a mesma, em todos os ensaios realizados.

- No início da carreira de filtração a eficiência de remoção de impurezas era menor, mas aumentou com o tempo de operação do filtro ascendente de pedregulho devido à retenção do material floculento que permaneceu nos vazios da camada de pedregulho;
- Quando o filtro ascendente de pedregulho trabalhou com menor taxa de filtração, a duração da carreira do filtro descendente de areia foi maior.

A partir da verificação da possibilidade de uso da filtração direta ascendente em pedregulho, GUSMÃO (2001) estudou o seu uso como pré-tratamento à filtração rápida descendente; avaliou e comparou basicamente dois sistemas: um constituído de filtro ascendente de areia grossa com taxas de 200 a 360 m³/m².dia e outro de filtro ascendente de pedregulho com taxas de 80 a 190 m³/m².dia, ambos submetidos a filtros rápidos descendentes com taxas de 115 a 480 m³/m².dia. Ele conclui que:

- As dosagens de coagulante variaram de 3,3 a 7,4 mg/L (ou entre 7,0 e 16,7 mg/L da solução comercial), e o pH de coagulação entre 6,32 e 7,03, sugerindo que, na grande maior parte do tempo, a coagulação ocorreu no mecanismo de adsorção e neutralização de carga;
- No sistema constituído pelo pré-filtro em areia grossa quando a turbidez da água bruta variou entre 8 a 12 uT e foram aplicadas taxas de filtração até 350 m/dia, a filtração rápida descendente mostrou-se desnecessária, porque apenas o filtro ascendente em areia foi suficiente para atender às Normas Brasileiras relativas à produção de água potável;
- No sistema constituído pelo pré-filtro de areia grossa, o crescimento da perda de carga foi mais intenso na unidade de filtração ascendente;
- A remoção de impurezas na unidade de filtração direta ascendente com pedregulho, operada com e sem descargas de fundo intermediárias, não foi suficiente para que a qualidade de seu efluente atendesse às exigências das Normas Brasileiras relativas a potabilidade da água;
- Quando a turbidez da água bruta variou entre 8 e 12 uT e a unidade de filtração direta ascendente em pedregulho foi operada com taxa de filtração da ordem de

190 m/dia sem a execução de descargas de fundo, após 12 horas de funcionamento, houve progressiva deterioração da qualidade do efluente;

- Houve períodos em que a unidade de filtração direta ascendente em pedregulho atuou, predominantemente, como unidade de floculação em meio granular;
- A execução de cada descarga de fundo intermediária, na unidade de filtração direta ascendente em pedregulho, provocou redução média de 90% no valor da perda de carga devido à retenção de impurezas no meio granular e o crescimento da perda de carga foi mais rápido no filtro descendente;
- Com água bruta variando de 12 a 19 uT o sistema com filtro ascendente em pedregulho é mais vantajoso, porque, além de produzir efluente final com a mesma qualidade, exigiu menor carga hidráulica total, e maior eficiência na produção de água tratada;
- Nos casos em que a turbidez da água bruta estava entre 8 e 12 uT, os dois sistemas tiveram eficiências equivalentes na produção de água tratada, mas no sistema de filtração ascendente com areia grossa, não era necessária filtração rápida descendente; o que torna esse sistema mais vantajoso.

DI BERNARDO e ISAAC R.L.(2001), revisando os conceitos sobre tecnologia da filtração direta ascendente e dupla filtração, sugeriram parâmetros (valores máximos) para projeto e operação de filtração direta e dupla filtração, segundo características da água bruta de acordo com TABELA 3.4.

TABELA 3.4 – Critérios de projeto para a operação dos filtros ascendentes e dupla filtração (valores máximos).

Discriminação	Filtração direta ascendente	Dupla Filtração	
		Areia grossa	Pedregulho
Características da água bruta			
<u>Turbidez (NTU)</u>			
90% do tempo abaixo de:	25	50	100
95% do tempo abaixo de:	50	100	150
100 % do tempo abaixo de:	100	150	200
<u>Cor Verdadeira (uH)</u>			
90% do tempo abaixo de:	20	50	100
95% do tempo abaixo de:	50	100	150
100% do tempo abaixo de:	100	150	200
<u>DBO₅(mg/l)</u>	5	10	10
<u>NMP contagem total de coliformes (UFC/100ml)</u>	5000	20000	20000
<u>Contagem de coliformes fecais (UFC/100ml)</u>	1000	5000	5000
<u>Carbono orgânico total (mg/l)</u>	2	5	5
<u>Concentração de algas (UPA/ml)</u>	500	2000	2500
Parâmetros de projeto e operação			
Taxa de filtração ascendente (m/dia)	120-240	120-240	24-144
Taxa de filtração descendente(m/dia)		200-400	200-400
Nº de descargas de fundo durante a carreira de filtração	≥ 1	≥ 4	≥ 4
Taxa da água aplicada na interface durante as descargas de fundo (m/dia)	≥ 600	≥ 600	≥ 600

Fonte: DI BERNARDO E ISAAC (2001).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Considerações Iniciais

O trabalho experimental foi realizado na Estação de Tratamento de Água II com sistema de dupla filtração (ETA2), município de São Carlos – SP.

O trabalho foi dividido em quatro etapas, a saber:

Primeira Etapa: Levantamento das unidades da ETA2, caracterização do material filtrante e verificação das condições de operação;

Segunda Etapa: Levantamento da situação geral da ETA; dos parâmetros (turbidez, pH, perda de carga, expansão da areia na lavagem, dosagem de coagulante e contagem de partículas, produção efetiva);

Terceira Etapa: definição e acompanhamento dos principais problemas da ETA 2;

Quarta Etapa: Comparação do funcionamento da ETA 2 e da Instalação Piloto, em paralelo, durante 6 dias.

4.2 Primeira Etapa

Nesta etapa da pesquisa foi efetuado levantamento físico das unidades e ,detalhadamente verificado, o funcionamento da ETA2.

4.2.1 Levantamento das unidades da ETA2

No levantamento das unidades da ETA, inicialmente, foram verificados os projetos e manuais existentes no Serviço Autônomo de Água e Esgoto da cidade de São Carlos e, a seguir, efetuadas medições in-loco para posterior complementações dos projetos e manuais.

4.2.2 Análise Granulométrica do Meio Filtrante das Unidades

Foram retiradas amostras do meio filtrante nos seis filtros, em profundidade de aproximadamente 15cm nos filtros ascendentes e 25cm nos descendentes, de três locais distintos, amostras de aproximadamente 1 kg, misturadas e analisadas granulométricamente. Foi adotado o seguinte procedimento:

- Separação de aproximadamente 1kg do material previamente misturado, execução de análise de distribuição granulométrica, com agitador mecânico de peneiras, de acordo com a norma NBR 7181/84 (ABNT, 1984);
- Confecção das curvas de distribuição granulométrica;
- Análise de dados de distribuição granulométrica do material dos seis filtros através do tamanho efetivo (D_{10}), D_{60} e coeficiente de desuniformidade (CD).

4.2.3 Verificação do funcionamento da ETA2

A determinação do método operacional da ETA2 baseou-se em observações junto aos operadores e em pesquisa no SAAE.

4.3 Segunda etapa

Nessa etapa foram obtidos os seguintes dados de operação: turbidez (água bruta, pré-filtrada e filtrada), dosagem de coagulante, pH da água coagulada, pH da água bruta, vazão efluente aos módulos, expansão da areia na lavagem e eficiência da mesma, evolução da perda de carga nos filtros ascendentes e descendentes, distribuição do tamanho de partículas (água bruta, pré-filtrada e filtrada) e produção efetiva de água filtrada.

4.3.1 Turbidez

A Turbidez foi medida através do método nefelométrico, com aparelho *Policontrol AP-2000* e aparelho *HACH 2100P Portable Turbidimeter*.

A turbidez da água bruta foi medida a cada 3 horas, nos filtros ascendentes e descendentes a cada hora.

4.3.2 pH

Com o aparelho *ORION* modelo 230A, fabricado pela Orion, com as seguintes características: faixa de medição -2,000 a 19,999; resolução: 0,001, 0,01; 0,1; acurácia $\pm 0,005$; inclinação 80 a 120 %; condições ambientais: 5 a 45 °C; 5 a 85 % de umidade relativa – não condensado. Foram medidos o pH da água bruta e coagulada na entrada dos filtros, a cada 3 horas separadamente.

4.3.3 Vazão efluente às unidades

Para medir a vazão efluente das unidades, foram instaladas réguas nas paredes internas das caixas de saída, que continham vertedores retangulares, o que possibilitou calcular as respectivas taxas de filtração.

4.3.3.1 Metodologia adotada para determinação das vazões:

- Medição das dimensões do vertedor (b, L, P e h) e adaptação do mesmo para que permanecesse com a crista aproximadamente retilínea, por meio de contraventamento em forma de T (ver FIGURA 4.1).

FIGURA 4.1 – Caixa niveladora com viga “T” para evitar a deformação do vertedor.

- Emprego da equação da vazão no vertedor (PORTO, 1998) dada por:

$$Q = \frac{2}{3} \times CD \times \sqrt{2g} \times L \times h^{\frac{3}{2}} \quad (\text{eq.1})$$

Sendo:

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$);

L = largura do vertedor (m);

h = carga sobre o vertedor (m);

CD = coeficiente de descarga.

Em que o coeficiente CD foi calculado pela equação de Rehbock apud PORTO (1998)

$$CD = \left[0,6035 + 0,0813 \left(\frac{h + 0,0011}{P} \right) \right] \times \left[1 + \frac{0,0011}{h} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (\text{eq.2})$$

sendo: $0,03 < h < 0,75 \text{ m}$; $L > 0,30 \text{ m}$, $P < 0,30$ e $h < P$

Sendo:

h = carga sobre o vertedor (m);

P = altura da soleira (m).

Segundo PORTO (1998), a equação de Rehbock fornece bons resultados se forem considerados detalhes como: boa ventilação da lâmina, soleira bem polida e uniformização da velocidade. Por sua precisão ela é indicada para trabalhos de laboratório.

- Confecção de réguas de papel milimetrado devidamente graduadas (0 a 15cm) e sua fixação com papel contact, atentando para que o zero da escala coincidisse com a soleira do vertedor, conforme FIGURA 4.2.
- Verificação do funcionamento do vertedor para a equação (1), comparando-se os valores de vazão calculados com os medidos volumetricamente, seguindo o procedimento a seguir:

FIGURA – 4.2 - Local da medição de vazão no vertedor de saída.

1. Medida da carga do vertedor (h) e cálculo da vazão através da equação (1);
2. Fechamento da saída de água do filtro descendente para o vertedor e cronometragem do tempo em que a água subia 20 cm em seu interior, sempre desprezando os primeiros 10 cm. Conhecidas as dimensões do filtro, era calculada a vazão; repetia-se esse procedimento três vezes e adotava-se a média e só então comparava-se ao valor obtido na fórmula.

Os resultados obtidos encontram-se na TABELA 4.1:

TABELA 4.1 – Comparação entre as vazões calculadas e as medidas volumetricamente.

Vazão (l/s)					
Altura (cm)	CD	Calculada (l/s)	Medida (l/s)	Diferença (l/s)	Erro (%)
1,9	0,7	5,1	5,52	0,42	8,24
2,0	0,7	5,5	5,7	0,3	5,45
2,2	0,7	6,3	6,58	0,28	4,44
2,3	0,6	6,7	6,9	0,2	2,99
2,5	0,6	7,5	7,8	0,3	4,0
3	0,6	9,8	10,22	0,42	4,29
4	0,6	14,9	15,25	0,35	2,35

Os tamanhos dos erros entre os valores calculados e os obtidos na prática foram menores que 10%, com carga $h > 2$ cm chegaram a ficar abaixo de 6%. Esses testes, realizados repetidas vezes, confirmaram as mesmas diferenças. Não foi encontrada diferença acima de 10%, e, na maioria das vezes, elas estavam abaixo de 6%, o que justifica o uso das equações (1) e (2).

Para valores da carga $h < 1,5$ cm; em vertedores com características semelhantes às do presente trabalho, aconselha-se o uso de outra fórmula, ou dedução de fórmula própria.

- Através da adoção da equação (1) e (2) confeccionou-se tabela no *microsoft-excel*, para determinação da vazão (Anexo A)

4.3.4 Dosagem de Coagulante

A determinação do coagulante usado bem, como modo de preparo da solução, foram obtidos através de observações junto aos operadores em pesquisa na Sede do SAAE. As dosagens foram calculadas através do método volumétrico em frasco de

250 ml durante 15 segundos, transformando-se se a vazão em L/s e aplicando-se a equação (3) para achar a dosagem da solução de sulfato de alumínio:

$$Q_{dos} = \frac{Q_{eta} \times DSA}{(mgSSA/L - DSA)} \quad (\text{eq. 3})$$

Sendo:

Q_{eta} = Vazão da ETA;

Q_{dos} = Vol frasco / tempo;

$mg SSA/L$ = peso em miligramas de solução de coagulante comercial em um litro de solução final;

$DAS mg/L$ = Solução de sulfato de alumínio.

4.3.5 Expansão da areia e qualidade da água de lavagem

Para medida da expansão foi utilizado um dispositivo confeccionado com tampas de plástico fixadas em haste de madeira a cada 2,5cm. Sua base foi apoiada no topo do meio filtrante e fixa por uma outra haste apoiada horizontalmente sobre o filtro, afim de verificar a altura de expansão da areia a cada lavagem (FIGURA 4.3).

FIGURA 4.3 – Dispositivo confeccionado para a medida da expansão da areia.

Esse dispositivo era fixado alguns minutos após a lavagem ter sido iniciada; após isso então verificava-se até que tampa havia areias podendo se saber a altura que ela expandira, e com altura total do leito, calculava-se a expansão.

A vazão de água para lavagem foi medida pelo método volumétrico, da seguinte maneira:

Filtros ascendentes e descendentes:

- Abria-se a válvula de saída de água de descarga (filtros ascendentes) ou de desvio da entrada de água pré filtrada (filtros descendentes) até que a água no interior do filtros descesse 30 a 50 cm;
- Fechava-se a válvula de saída de água de lavagem e abria-se a válvula para a entrada de água para lavagem;
- Cronometrava-se o tempo para a água subir os intervalos de 10cm, desprezando-se sempre os primeiros 10 cm (com a área do filtro, foi calculada a vazão).

A medida da vazão de água aplicada na interface foi efetuada de forma semelhante, porém, media-se a subida de nível da água, junto à crista das calhas de coleta de água de lavagem, aproximadamente 10 a 20cm, com a válvula de descarga fechada.

A análise da água de lavagem respeitou o seguinte procedimento:

- Coletavam-se amostras de água de lavagem a cada minuto, de 0 a 10min (filtros descendentes) e de 0 a 12 min (filtros ascendentes);
- Efetuou-se a medição da turbidez das amostras.

filtro ascendente (próximo ao manômetro) e fixadas no quadro piezométrico localizado na parede externa da câmara de carga. Em sua base, também foi conectada uma mangueira transparente para visualização do nível de água em seu interior (FIGURA 4.4).

FIGURA 4.4 Sistema para medição do nível de água nos filtros ascendentes e na câmara de carga

Foi adotado como nível zero a altura de saída de água nos vertedores de coleta de água filtrada dos filtros ascendentes.

Filtros descendentes: as leituras piezométricas foram efetuadas em mangueiras transparentes instaladas pouco acima do topo do meio filtrante até a base das calhas de coleta de água filtrada (FIGURA 4.5).

FIGURA 4.5 - Esquema de medição do nível de água nos filtros descendentes

4.3.7 Contagem de partículas

Considerando que a maior parte dos protozoários patogênicos ao ser humano possuem tamanho entre 2 e 24 μm , foram efetuadas medições do tamanho e da distribuição de tamanhos na faixa global e nas faixas de 2 a 6 μm (tamanho médio de cistos de criptosporídio), 8 a 12 μm (tamanho médio de cistos de giárdia) e de 15 a 20 μm (tamanho médio de amebas).

Foram medidas a concentração de partículas entre faixas de tamanho 2; 4; 6; 8; 12; 16; 24 μm , utilizando-se sistema *Hiac/Royco* para contagem de partículas, constituído por amostrador, sensor e contador de partículas.

4.3.8 Produção efetiva da ETA 2

A produção efetiva da ETA foi considerada a cada mês; o volume produzido determinado através de réguas instaladas nas paredes internas das caixas de saída era medido e calculado a cada hora. Ao final de cada mês era levantada a produção total de água filtrada e diminuía-se destes valores os gastos com as lavagens e descargas de fundo que eram determinadas através de métodos volumétricos já descritos.

Devido a não existência de condições para se medir com frequência as vazões de lavagem e descargas, elas foram medidas esporadicamente e adotou-se o maior dos valores encontrado em cada caso, para simular a pior das situações.

Q_{df} = Vazão das descargas de fundo (L/s);

Q_{asc} = Vazão dos filtros ascendentes (L/s);

Q_{desc} = Vazão dos filtros descendentes (L/s).

Descargas de fundo intermediárias

Foi adotada a vazão de 40 L/s, e a partir de abril, Q_{df} = 35 L/s.

Lavagens:

Adotou-se até março Q_{asc} = 75 L/s e, posteriormente, a partir de abril Q_{asc} = 65 L/s. Já os descendentes até março Q_{desc} = 60 L/s a partir de abril Q_{desc} = 50 L/s.

A mudança do registro de lavagem acarretou, a partir de abril de 2001, alterações nas vazões de lavagem e descargas de fundo.

4.4 Terceira etapa

Realizado o levantamento geral do funcionamento da ETA2 e obtidos os parâmetros citados, foram definidos que problemas seriam acompanhados, mais aprofundadamente, problemas como: as influências das descargas de fundo intermediárias, das lavagens e intermitência de funcionamento da ETA2, na qualidade da água pré-filtrada e filtrada e, também verificação de caminhos preferenciais (curto-circuitos).

4.4.1 Influência das descargas de fundo, lavagens e intermitência na qualidade física da água

Adotou-se metodologia semelhante à utilizada por LARA PINTO (1994). As leituras de turbidez do efluente dos filtros nas unidades da ETA 2 foram realizadas da seguinte maneira:

- Nas descargas de fundo intermediárias nos filtros ascendentes - no momento da descarga, a cada 5 min e durante 30 min; depois a cada 10 min até que a qualidade dos efluentes se estabilizasse ou a estação parasse de funcionar.
- Após a lavagem dos filtros ascendentes (lavados em seqüência) - a cada 5 min até todos os filtros serem lavados; e em seguida a cada 10 min até que a qualidade dos efluentes se estabilizasse ou a estação parasse de funcionar.
- Durante as lavagens nos filtros descendentes (não lavados em seqüência) - a cada 5 min até que todos os filtros fossem lavados; e em seguida a cada 10 min até que a qualidade dos efluentes se estabilizasse ou a estação parasse de funcionar.
- Com relação à intermitência – a cada 5 min durante 30 min e ,em seguida, a cada 10 min até que se estabilizasse a qualidade dos efluentes.

4.4.2 Influência das descargas de fundo na qualidade bacteriológica da água pré-filtrada e filtrada.

Verificada por meio de exames bacteriológicos, feitos pelo método do substrato definido da Idexx COLLILERT, utilizando-se indicadores-nutrientes que produzem cor e/ou fluorescência ao serem metabolizados por coliformes totais e *Escherichia coli*. Foi adotado o procedimento *Quanti-Tray* para a determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais e de *E. Coli* em amostras de 100ml. Foram utilizados: estufa para incubação das bandejas durante 24 horas a 35°C, sacos plásticos *Colilert* (100ml), reagente *Colilert*, bandejas *Quanti-Tray/2000*, seladora *Idexx - Quanti-Tray* e aparelho *Spectroline* modelo CM-10; *Fluorescence*.

Acompanhou-se uma carreira completa dos filtros ascendentes, coletando-se:

- Efluentes dos filtros - ascendentes: no tempo 0 min e 20 min após o início de funcionamento, 1 min antes das descargas de fundo e 15 min após e, antes da lavagem dos ascendentes no final da carreira;
- Efluentes dos filtros descendentes - 1 min antes das descargas e 25 min após e, antes da lavagem dos ascendentes no final da carreira;
- Água bruta: no início, no tempo 0, 15 min antes de cada descarga e 15 min antes do final da carreira.

4.4.3 Verificação de caminhos preferenciais

Os caminhos preferenciais foram verificados por meio da medida de pH e do potencial Zeta da água coagulada na entrada dos filtros, coletada nos pontos A, B e C, conforme FIGURA 4.6.

FIGURA 4.6 – Pontos de coleta para verificação de caminhos preferenciais.

Medidas de pH - O pH na entrada dos filtros foi medido a cada duas horas, durante algumas carreiras.

Potencial Zeta (*PZ*) - Foi determinado aleatoriamente, por eletroforese, durante o período de 09/06/01 a 04/07/01 com *ZetamasterParticle Electrophoresis Analyser*, fabricado pela *Malvern Instruments Ltd*, com as seguintes características;

eletroforese: faixa de tamanho $10\eta\text{m}$ a $50\mu\text{m}$; faixa de mobilidade: < -10 a $> +10$ $\mu\text{m. S}^{-1} / \text{V. cm}^{-1}$; condições ambientais: 10 a 30 °C, umidade relativa $<< 70\%$.

4.5 Quarta Etapa

Levantados e estudados os principais problemas e parâmetros da ETA2, foi possível compará-la com uma instalação piloto visando confirmação dos problemas verificados.

FIGURA 4.7 – Vista externa do laboratório e da Instalação Piloto.

A instalação piloto é constituída de filtro ascendente em areia grossa e filtro descendente rápido, em areia, (TABELA 4.2), que foram localizados em instalação junto a ETA2 (FIGURA4.7). O controle da vazão na ETA 2 seguiu metodologia já demonstrada. Na Instalação Piloto o controle foi realizada através de rotâmetros e conferidos pelo método volumétrico. As dosagens de coagulante, quer da ETA real quer da Instalação Piloto foram levantadas pelo método volumétrico.

TABELA 4.2 – Características do material filtrante da Instalação Piloto.

Filtros Ascendentes			Filtros Descendentes	
Camada	Espessura (m)	Granulometria (mm)	Espessura (m)	Granulometria (mm)
Pedregulho 1	0,100	25,4 a 19,0	Inexistente	
Pedregulho 2	0,100	19,0 a 12,7		
Pedregulho 3	0,100	12,7 a 6,4		
Pedregulho 4	0,150	6,4 a 3,2		
Pedregulho 5	0,075	12,7 a 6,4		
Pedregulho 6	0,075	19,0 a 12,7		
Areia	1,60	1,00 a 2,00	0,70	0,30 a 1,41
Tamanho efetivo da areia = 1,4mm			Tamanho efetivo da areia = 0,43mm	

Fonte: DE PAULA et all (2001)

Antes de iniciar da comparação, foi feita a troca da bomba de recalque na entrada da ETA 2 para diminuir a variação até então das taxas observadas e colocado um medidor de vazão ultra-sônico na entrada da ETA2, para facilitar controle da vazão.

Foram feitas medidas de perda de carga:

Nos filtros ascendentes - através de mangueira plástica instalada na base do filtro piloto;

Nos filtros descendentes – através da altura da lâmina de água dentro do filtro.

Os demais ensaios foram realizados com procedimentos semelhantes aos usados na ETA2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios desta pesquisa feitos em 4 etapas, foram executados de janeiro a julho de 2001, com acompanhamento de 1211 horas de funcionamento da ETA2.

Os resultados desses ensaios estão apresentados em anexos da seguinte forma:

Primeira Etapa:

Anexo A – Resultados do levantamento das unidades da ETA2 (projetos), as tabelas dos ensaios granulométricos do material filtrante dos filtros, tabela de determinação de vazão afluente aos módulos e gráficos mensais de dosagem de coagulante;

Segunda Etapa:

Anexo B – Tabelas utilizadas para dosagens na ETA2 e acompanhamento das carreiras nos meses de fevereiro e março;

Anexo C – Quadros e figuras referentes a evolução da perda de carga nos filtros e suas influências na qualidade dos efluentes;

Anexo D – Quadros de expansão da areia em relação à altura manométrica do reservatório elevado, à remoção de partículas em porcentagem e número de partículas remanescentes;

Terceira Etapa:

Anexo E –Figuras e quadros referente à influência na qualidade dos efluentes, das lavagens dos filtros ascendentes e descendentes e das descargas de fundo nos filtros ascendentes;

Anexo F –Figuras e quadros referentes à influência na qualidade da água produzida no início de funcionamento da ETA2;

Anexo G –Figuras e quadros referentes a caminhos preferenciais e suas influências na qualidade dos efluentes dos filtros ascendentes e descendentes;

Quarta Etapa:

Anexo H –Figuras e quadros de resultados da comparação comparativo ETA2 com uma Instalação Piloto de características semelhantes.

Após 6 meses de acompanhamento, foram elaboradas as Tabelas I.01 a I.012 (Anexo I), que apresentam um resumo geral dos principais dados obtidos em pesquisa, tais como, taxa de filtração, valores máximos e mínimos de dosagens do coagulante, turbidez e produção efetiva da ETA2.

5.1 Primeira Etapa

5.1.1 Descrição Geral da ETA2

A ETA2 localizada no Centro Empresarial de Alta Tecnologia (CEAT) de São Carlos, próxima à antiga estrada da Represa do Lobo (Broa) possui, basicamente, três unidades de dupla filtração (DF), todas com filtro ascendente de 3m de diâmetro, filtro descendente de 2,5m de diâmetro (anexo A) e trata água bruta captada da adutora do Ribeirão do Feijão.(FIGURA 5.1).

FIGURA 5.1 - Vista geral da ETA e da casa de química

Por derivação de 200 mm, a água bruta é conduzida a um reservatório semi-enterrado, do qual é bombeada para uma câmara de carga cilíndrica (FIGURA 5.2). A suspensão de Barrilha é introduzida próximo a entrada dessa câmara de carga, e na sua saída é introduzida a solução de sulfato de alumínio. Tanto a suspensão de barrilha como a solução de sulfato de alumínio eram preparadas em tanques situados no interior da casa de química. Os tanques são fabricados em polipropileno, equipados com bombas centrífugas, rotâmetros, válvula reguladora de fluxo e agitador.(FIGURA 5.3).

FIGURA 5.2 - Câmara de carga e unidades de filtração

FIGURA 5.3 - Tanques de preparação de coagulante

A tubulação de água coagulada, logo após a saída da câmara de carga, divide-se em duas, as quais estão conectadas a outra tubulação, da qual têm-se os alimentadores por meio de tubulação tipo *manifold*, as três unidades de dupla filtração, cada uma delas possuindo um filtro ascendente em areia grossa seguida de um filtro descendente em areia fina (FIGURA 5.4).

FIGURA 5.4 - Manifold de distribuição para alimentação dos filtros ascendentes.

Os filtros ascendentes são constituídos de fundo com forma de tronco-cônicos, com sistema de distribuição de água bruta e para lavagem, de maneira equitativa; tubulações para introdução de água na interface pedregulho / areia; material filtrante, calhas de coletas e caixa distribuidora. Os filtros descendentes (FD) possuem material filtrante e fundo plano com sistema de drenagem constituído por tubos perfurados para coleta de água filtrada e distribuição de água para lavagem.(ver FIGURAS 5.5 e 5.6). Os tubos e conexões todos flangeados, são acompanhados por válvulas, arruelas de borracha, parafusos, porcas e arruelas zincadas.

FIGURA 5.5 - Entrada dos filtros ascendentes.

FIGURA 5.6 - Interligação entre os filtros ascendentes e descendentes

Na saída de cada filtro descendente, há uma caixa com vertedor de descarga livre, e as tubulações de saída individuais são conectadas à uma tubulação geral que veicula a água filtrada a um poço de sucção, onde são aplicados o cloro e o ácido fluossilícico, que, então é bombeada para um reservatório elevado. Tanto, a lavagem dos filtros, quanto a aplicação de água na interface pedregulho-areia do filtro ascendente é feita com água proveniente do reservatório elevado, que também é usado para distribuição de água (FIGURA 5.7).

FIGURA 5.7 - Saída dos filtros descendentes (caixas providas de vertedores), reservatório elevado para distribuição de água e lavagem dos filtros.

5.1.2 Características do material filtrante.

Os três filtros ascendentes e descendentes, segundo o projeto da estação, devem ter camadas de pedregulho e de areia especificados na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 – Materiais granulares dos filtros ascendentes e descendentes.

Camada	Filtros Ascendentes		Filtros Descendentes	
	Espessura (m)	Granulometria (mm)	Espessura (m)	Granulometria (mm)
Pedregulho 1	0,200	25,4 a 31,0	0,15	19,0 a 38,0
Pedregulho 2	0,100	15,9 a 25,4	0,10	12,7 a 19,0
Pedregulho 3	0,075	9,6 a 15,9	0,05	6,4 a 12,7
Pedregulho 4	0,075	4,8 a 9,6	0,05	3,2 a 6,4
Pedregulho 5	0,150	2,4 a 9,6	0,10	2,4 a 3,2
Pedregulho 6	0,100	4,8 a 9,6		
Pedregulho 7	0,100	9,6 a 15,9		
Areia 1	0,800	1,41 a 2,00	0,600	0,42 a 1,41
Areia 2	0,650	0,84 a 1,41		
Areia 3	0,150	0,59 a 0,84		

Fonte: Manual Hemfibra

Admitiu-se que as camadas suportes dos filtros ascendentes seguem as especificações do projeto. Segundo informação dos operadores a camada suporte dos filtros descendentes tem aproximadamente 15 cm, no entanto, devido a problemas operacionais, a areia foi desestratificada, isto será comentado posteriormente. As camadas filtrantes dos três filtros ascendentes, que pelas especificações de projeto; deveriam ter 1,60m de altura, mediam aproximadamente 1,15m, e os filtros descendentes tinham alturas próximas a 0,50m.

Na Tabela 5.2 são apresentadas algumas características granulométricas das amostras de areia retiradas em relação ao topo, de 0 a 15cm nos filtros ascendentes e de 0 a 25cm nos filtros descendentes.

TABELA 5.2 - Características do material coletado do topo da areia.

Filtro	D ₁₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	CD
Ascendente I	0,95	1,32	1,39
Ascendente II	0,95	1,21	1,27
Ascendente III	0,95	1,35	1,42
Descendente I	0,49	0,78	1,59
Descendente II	0,50	0,80	1,60
Descendente III	0,80	0,85	1,06

D₁₀ (tamanho efetivo) :diâmetro equivalente a 10% do material que passa (mm);

D₆₀: diâmetro equivalente a 60 % do material que passa (mm);

CD (D₆₀/D₁₀): coeficiente de desuniformidade.

Os valores da TABELA 5.2 foram obtidos através de curvas granulométricas apresentadas nas FIGURAS 5.8 e 5.9.

FIGURA 5.8 – Comparação entre as três curvas granulométricas dos filtros ascendentes

FIGURA 5.9- Comparação entre as curvas granulométricas dos filtros descendentes.

Observando-se as curvas granulométricas da Figura 5.8, nota-se que suas características são semelhantes às da areia especificada, o que confirma haver mistura total dos grãos. Esse fato diminui as vantagens da filtração ascendente, cujo escoamento deveria ocorrer no sentido de diminuição do tamanho dos grãos de areia. Em relação aos filtros descendentes (Figura 5.9), as amostras dos filtros 1 e 2 são semelhantes. O filtro descendente 3, além de ser mais uniforme ($CD = 1,06$), possui grãos de maior granulometria, logo a areia encontra-se misturada.

5.1.3 Operação de filtração e de lavagem

As três unidades da ETA2 estão interligadas a uma mesma câmara de carga, e funcionam como vasos comunicantes, o que permitiria que os filtros ascendentes fossem lavados seqüencialmente. Na prática esta lavagem não foi observada algumas vezes.

Filtros ascendentes:

Descargas de fundo intermediárias realizadas quando:

As descargas de fundo intermediárias eram realizadas com intervalos de no mínimo 3 horas e no máximo a cargo do operador;

Lavados, segundo os seguintes critérios:

- Estivessem funcionando há mais de 48 horas;
- Turbidez do efluente fosse superior a 5 uT e continuasse aumentando progressivamente ;
- Ou quando o operador achasse necessário.

Filtros descendentes

Lavados, seguindo os seguinte critérios:

- Se turbidez efluente individual superior a 1uT, e continuasse aumentando progressivamente;
- Se o nível de água estivesse próximo de afogar as calhas de coleta de água de lavagem;
- Quando o operador achasse necessário;
- Não havia limite para tempo de funcionamento máximo nos filtros descendentes.

As lavagens, tanto dos filtros ascendentes quanto dos descendentes foram realizadas com água proveniente do reservatório elevado e sem correção de pH, com o seguinte procedimento:

FIGURA 5.10 – Esquema do reservatório elevado e dos filtros.

RE - Reservatório elevado;
CC – Câmara de Carga;
RL - Registro geral de água para lavagem;
FA – Filtro Ascendente;
FD – Filtro Descendente;
N – Caixa de saída com vertedores;
L – Extravasador de água;
F – Entrada de água filtrada do poço de sucção;
S – Saída de água tratada para a população;
R1 – Registro para entrada de água coagulada no filtro ascendente;
R2 – Registro para entrada de água na interface;
R3 – Registro para entrada de água para lavagem;
R4 – Registro para saída da água da descarga;
R5 – Registro de saída de água de lavagem do filtro ascendente;
R6 – Registro de ligação entre o filtro ascendente e descendente;
R7 – Registro de saída de água de lavagem do filtro descendente;
R8 – Registro de saída da água filtrada;
R9 – Registro de entrada de água para lavagem nos filtros descendentes.

Descargas de fundo intermediárias nos filtros Ascendentes:

Fecha-se R1, abre-se RL (aproximadamente 3 a 5 voltas), abrem-se R2 e R4. Após ser visualmente observada a clarificação da água de descarga (30 a 60 seg), fecham-se R4 e R2 e abre-se R1; após essa manobra ter sido repetida para os três filtros ascendentes, fecha-se RL.

Lavagem dos filtros ascendentes:

Fecham-se os registros de saída S, R1 e R6 e abrem-se R5 e RL (aproximadamente 3 a 5 voltas) e, por fim abre-se R3. Após 10 a 15 minutos, se a água de lavagem estiver relativamente limpa, fecha-se R3 e após cerca de 30 segundos, depois abre-se R6 e fecha-se R5; a seguir abre-se R1 e fecha-se RL. Esses

filtros devem ser lavados em sequência, e a diferença entre a lavagem não pode exceder duas horas.

Lavagem dos filtros descendentes:

Feçam-se os registros de saída S, R1 e em seguida feçam-se R6 e R8. Abre-se R7 e, em seguida abre-se RL (aproximadamente 3 a 5 voltas) e, por fim, abre-se R10. Após 8 a 12 min, se a água de lavagem estiver relativamente limpa, fecha-se R9, e após 30 seg, abrem-se R6 e R8 e fecha-se R7. Abre-se R1, e fecha-se RL. Os filtros descendentes não precisam ser lavados em sequência.

O registro de saída de água para lavagem era proveniente do reservatório elevado até 18/04/01. Depois de uma reforma, como a vazão de lavagem era baixa começou a ser aberto 5 voltas.

5.2 Segunda Etapa

5.2.1 Situação Geral da ETA2

Durante o levantamento foram observados diversos problemas na ETA2, destacando-se:

- 1) Vazamentos nas válvulas que regulam a saída da água de lavagem nos filtros descendentes das unidades II e III (aproximadamente 0,1 L/s), mesmo quando os operadores utilizaram alguns meios para tentar diminuí-los (FIGURA 5.11);

FIGURA 5.11 Vazamentos e tentativa de diminuição do mesmo

- 2) Carreamento de flocos no efluente dos filtros ascendentes que ocasionou, aumento da turbidez e diminuição das carreiras dos filtros descendentes (FIGURA 5.12);
- 3) Recirculação da água do reservatório elevado para os módulos I, II e III mesmo após desligamento da ETA2 pela tubulação de lavagem;
- 4) “Estouros”¹ moderados da areia dos filtros ascendentes durante a lavagem;

¹ “Estouro” -fenômeno físico em que a areia no momento da lavagem sobe toda compactada (como um bloco) e, em determinada altura, ocorre descompactação desse bloco com liberação do ar logo abaixo.

FIGURA 5.12- Subida de flocos em direção a calha de coleta

- 5) Excesso de coagulante, que ocasionou o aumento da turbidez nos filtros descendentes;
- 6) “Estouro”, que provocou a saída da areia pela calha coletora de água de lavagem (fato observado aos 31/03/2001).

5.2.2 Turbidez

A turbidez da água bruta variou de 9,76 uT a 106 uT (FIGURA.5.13).

FIGURA 5.13. – Turbidez da água bruta no período de 13/02/01 a 04/07/01.

Nos meses de fevereiro e março foram analisadas diversas carreiras nos filtros ascendentes e descendentes (anexo B), com objetivo de detectar problemas na estação, para posteriores estudos mais detalhados. Nesses dois primeiros meses observou-se que os filtros tinham seu desempenho alterado por diversas variáveis, tais como: turbidez da água bruta, descargas de fundo intermediárias, lavagens e intermitência do funcionamento, o que permitiu definir quais problemas deveriam ser analisados mais profundamente.

△ - Descarga de fundo nos filtros ascendentes.

□ - Lavagem dos filtros ascendentes.

⊞ - Desligamento e religamento da ETA 2.

Carreiras em função dos descendentes.

FIGURA 5.14 – Turbidez da água bruta e dos filtros ascendentes em relação à carreira do filtro descendente na unidade I.

Após o desligamento e religamento da ETA2 a qualidade da água não é diretamente afetada (FIGURA 5.14) mas, em relação às descargas dos filtros ascendentes, a qualidade é diretamente afetada, visualmente observada nos gráficos das FIGURAS 5.14, 5.15, 5.16, porque após a execução das descargas, ocorrem

picos que, dependendo da intensidade, podem ou não afetar os filtros descendentes. As lavagens também afetaram a qualidade do efluente, ocorreram picos após as mesmas, que podem ser observados em todas figuras. Essa era um fato esperado porque, após a lavagem, os filtros passam por um período de amadurecimento até produzirem efluente de qualidade razoável.

FIGURA 5.15 – Turbidez da água bruta e dos filtros ascendentes em relação à carreira do filtro descendente na unidade II.

FIGURA 5.16 – Turbidez da água bruta e dos filtros ascendentes em relação à carreira do filtro descendente na unidade III.

Ao termino do trabalho experimental foram construidos diagramas para visualizar em que faixa se situou a maioria dos valores de turbidez dos efluentes dos filtros ascendentes e descendentes (FIGURA 5.17 e 5.18).

FIGURA 5.17 –Representação da porcentagem de ocorrência da turbidez entre as faixas no efluente dos filtros ascendentes.

FIGURA 5.18 - Representação da porcentagem de ocorrência da turbidez entre as faixas no efluente dos filtros descendentes

Nos filtros ascendentes a turbidez ficou 90% acima do tempo abaixo de 5 uT. A eficiência foi considerada boa, pois esse efluente seria submetido à filtração descendente. Nos filtros descendentes, cujos efluentes são submetidos apenas à desinfecção, os valores muitas vezes ultrapassaram 1uT (valor máximo permitido pela portaria 1469) e em grande maioria ficaram entre 0 e 2uT (algumas vezes ultrapassaram 5uT), o que acaba por comprometer a desinfecção.

A turbidez da água filtrada final (mistura dos três filtros), raramente ultrapassou 1uT, e os picos apenas aconteceram individualmente; jamais aconteceram simultaneamente nas três unidades, o que indica problemas como caminhos preferenciais e diferenças entre granulometrias da areia dos filtros.

A eficiência das unidades de dupla filtração (UDFs) em relação à turbidez do efluente final produzido em cada unidade, teve baixo desempenho (TABELA 5.3), pois seus valores muitas vezes não se enquadraram nos padrões de potabilidade.

TABELA 5.3 – Porcentagem dos valores até 1 uT nas UDFs.

Unidade de dupla filtração	UDF I	UDF II	UDF III
Porcentagem de valores que atendem a portaria nº1469 de 01/2001.	84%	92%	81%

5.2.3 Dosagem de Coagulante:

Foi usado como coagulante o sulfato de alumínio líquido comercial, com concentração de 50% (massa/massa), com massa específica de 1,320 kg/L e concentração de Al_2O_3 da ordem de 7,2% (massa/massa) na faixa de temperatura de 20 a 24 °C, que resultaram 95,04 g de Al_2O_3 / L de produto comercial e, como a massa molar do sulfato de alumínio PA na forma $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{ H}_2\text{O}$ é 599,4g e a de Al_2O_3 102g, a concentração de 558,5 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{ H}_2\text{O}$ por litro do produto comercial líquido. A solução aplicada na água bruta foi preparada em tanques de 660 L na proporção de 50 L de produto comercial líquido para 610 L de água. A concentração de sulfato de alumínio foi calculada através da equação 4:

$$P_s / L = \frac{(V_{ads} \times P_s)}{(V_{total})} \quad (\text{eq 4})$$

Sendo:

P_s/L : Peso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{ H}_2\text{O}$ em g, a cada litro.

V_{ads} : Volume adicionado de solução de sulfato de alumínio (50 L).

P_s : concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{ H}_2\text{O}$, por litro do produto comercial líquido.

V_{total} : volume total do tanque (660 L)

Logo:

$$P_s / L = \frac{(50 \text{ L} \times 558,5 \text{ g})}{(660 \text{ L})} . P_s / L = 42,3 \text{ g} / \text{L} = 42,3 \text{ g de } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14$$

$\text{H}_2\text{O}/\text{L}$

Cada litro de solução preparada teve aproximadamente 42,3 g / L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ ou 100 g / L de solução comercial de sulfato de alumínio.

O coagulante era colocado com base na dosagem de coagulante da ETA1 de São Carlos (convencional), medida pela vazão expressa em ml/min de acordo com tabela existente na ETA2 (Anexo B). Por segurança, existem instruções para que a dosagem fique acima da tabela de acordo com o “sentimento” de cada operador.

Para determinar a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$,

$$Q_{dos} = \frac{Q_{eta} \times DSA}{(mgSSA/L - DSA)} \quad (\text{eq. 5})$$

Onde:

Q_{dos} = Vol frasco / tempo;

Mg SSA/L = peso em miligramas de solução de sulfato de alumínio comercial por litro de solução final

DAS mg/L Solução de sulfato de alumínio .

Na prática foi usado para a dosagem, um frasco de 250 ml, e o volume foi medido no período de 15 segundos. Esse valor era multiplicado por 4. Para calcular a dosagem de sulfato de alumínio, transformou-se a vazão em L/s, multiplicou pela concentração de solução de sulfato de alumínio comercial em cada litro de solução preparada e, então, dividiu-se pela vazão da ETA2 naquele instante. Se quiséssemos apenas a concentração de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$, dividia-se por 2 e multiplicava-se por 0,846 (42,3/50) obtendo-se a seguinte fórmula:

$$D = \frac{(Vol_{frasco} \times 4)}{2 \times 60 \times 1000} \times \frac{100000}{Q_{ETA2}} \times 0,846 = \frac{2,83 \times Vol_{frasco}}{Q_{ETA2}} \quad (\text{eq. 6})$$

Sendo

Vol_{frasco} = volume do frasco (ml);

Q_{ETA2} = L / s;

D = mg / L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$.

As dosagens variaram de 5,8 mg/L até 60,2 mg/L quando a turbidez atingiu 106 uT. As dosagens ficaram acima das adequadas, conforme comunicação pessoal com DE PAULA que, paralelamente realizava trabalho em Instalação Piloto.

Os valores máximos e mínimos de dosagem de coagulante na ETA2 são apresentados na TABELA 5.4 e as Tabelas do anexo I apresentam os valores máximos e mínimos de dosagem em cada carreira.

5.2.4 pH da água bruta e água coagulada

O pH da água bruta variou de 6,2 a 7,3, e o da água coagulada variou de 5,2 a 6,9 (dependendo da dosagem usada de coagulante). O pH foi acompanhado de fevereiro até meados de abril, pelo método colorimétrico; verificou-se que, a partir de meados de março, o pH da água coagulada que estava em torno de 5,2 a 6,2, passou para 6,5 a 6,8, mesmo para altas dosagens. Suspeitou-se do método utilizado, mas mesmo depois de o aparelho Orion ter sido instalado no laboratório, os valores se repetiram. Decidiu-se, então, medir o pH na entrada dos filtros ascendentes, uma vez que a derivação para a medida de pH de água coagulada localizava-se após a divisão das vazões para os filtros ascendentes não sendo possível garantir-se que essa mesma água fosse encaminhada para todas as unidades (FIGURA 5.19).

FIGURA 5.19 – Derivação de coleta de água coagulada.

5.2.5 Vazão efluente aos módulos e taxas de filtração

A vazão nos módulos variou segundo tempo da lavagem e perda de carga nos filtros ascendentes. Os filtros possuem vazões semelhantes no princípio da carreira mas, com o passar do tempo, após a realização de descargas de fundo intermediárias observaram-se diferenças entre vazões, as quais se alteravam a cada descarga. As medidas de vazão dos vertedores, das caixas de saída dos filtros descendentes, mostraram que as taxas de filtração variaram de 25,67 m/dia a 182,10 m/dia, e nos descendentes de 36,96m/dia a 262,26 m/dia. Os valores máximos e mínimos em cada filtro, estão expressos no TABELA 5.4.

TABELA 5.4 – Valores máximos e mínimos de turbidez, taxas e valores médio da duração das carreiras para os filtros ascendentes e descendentes.

Filtro	Turbidez do Efluente (uT)		Dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x14,3\text{H}_2\text{O}$ (mg/L)		Dosagem de alumínio – Al (mg/l)		Taxa de Filtração (m/d)			Duração Média das Carreiras (h)
	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Méd.	Mín	
FAI	23	0,05	60,2	5,8	5,4	0,5	156	86	26	39
FAII	8,2	0,01	60,2	5,8	5,4	0,5	182	76	26	39
FAIII	21	0,07	60,2	5,8	5,4	0,5	182	83	40	41
FDI	19	0,04	60,2	5,8	5,4	0,5	225	128	37	54
FDII	4,6	0,03	60,2	5,8	5,4	0,5	262	110	37	58
FDIII	4,4	0,05	60,2	5,8	5,4	0,5	262	126	58	57

As taxas de filtração estiveram muito ligadas com a produção efetiva e vice versa, como demonstram as Tabelas I.02, I.04, I.06, I.07 I.08, I.10 e I.12; quanto maior a taxa, maior a produção efetiva que também está ligada ao número de descargas.

5.2.6 Expansão da areia e eficiência da lavagem

A expansão da areia variou segundo a altura de água no reservatório elevado, número de voltas do registro de lavagem e diferenças de perda de carga entre os filtros - como podemos observar nas tabelas no anexo C. Nas figuras 5.20 e 5.21 são mostrados os valores de turbidez da água de lavagem e a duração dessa operação para diferentes expansões da areia. Nessas figuras está evidente a falta de

controle da vazão da água de lavagem, com conseqüente prejuízo à qualidade do efluente produzido e à duração da carreira.

A altura manométrica da caixa é a altura de água a partir do chão, pois o manômetro tem ligação com a tubulação que passa na cota do solo.

Na maioria das vezes as expansões nos filtros ascendentes ficaram entre 15 a 35 % e nos filtros descendentes tiveram expansões 12 e 55%. Isso se deve à inexistência de camada suporte (apenas 5cm) e às vazões de lavagem algumas vezes estarem próximas para os dois filtros como se pode observar na carreira de 09/03 - 13/03 nas Tabelas D.01 a D.03 anexo D.

FIGURA 5.20 - Relação entre as expansões em porcentagem e a turbidez da água de lavagem através do tempo.

As Taxas máximas e mínimas de lavagem nos filtros ascendentes e descendentes, bem como as descargas de fundo intermediárias, deveriam ter valores aproximados o que muitas vezes não ocorreu, como demonstra a TABELA 5.5, o que faz pensar que o método para lavagem adotado, não oferece controle adequado.

TABELA 5.5 – Taxas máximas e mínimas para lavagem e descargas nos filtros.

Taxas (m ³ /m ² .dia)	Lavagem		Descargas de fundo intermediárias
	Filtros ascendentes		Filtro ascendente
	Mín	672	367
	Máx	916	1074
			342
			489

FIGURA 5.21 – Relação entre as expansões em porcentagem e a turbidez da água de lavagem através do tempo.

5.2.7 Evolução da perda de carga nos filtros ascendentes e descendentes

As perdas de cargas em relação aos filtros ascendentes evoluíram linearmente como esperado (Figura 5.22); em relação aos filtros descendentes as perdas de carga tiveram evolução irregular devido à intermitência da ETA e a outras operações como “tirar o ar”, com o seguinte procedimento:

- Fechava-se o registro de saída do filtro descendente;
- Abria-se o registro de lavagem do filtro descendente, aproximadamente 1/5 por cerca de 30 segundos;
- Fechava-se o registro de lavagem e abria-se a saída do filtro.

Essa operação foi detectada na carreira de 07/05/01 a 11/05/01 (ensaio 1), procedimento que era realizado depois de 19 horas de funcionamento, sem afetar a qualidade do efluente produzido como observado nas figuras de C.01 a C.06.

Fonte: Lara Pinto(1994)

FIGURA 5.22 – Evolução típica da perda de carga.

Em relação à evolução da perda de carga na carreira de 27/05/01 a 03/06/01 (Ensaio 3), cujas unidades foram postas juntas em funcionamento, na 34ª hora a unidade I foi retirada de funcionamento devido aos altos valores de turbidez (FIGURA.C.16). No início da 43ª hora de funcionamento houve queda na perda de carga, mesmo sem haver alterações da taxa das unidades; acredita-se que houve rompimento do meio filtrante simultaneamente ao carregamento de flocos observado visualmente, para as calhas de coleta de água filtrada dos filtros ascendentes, com aumento da turbidez dos efluentes (FIGURAS C.17 e C.18).

Os gráficos C.19, C.20 e C.21 da carreira de 11/06/01 a 15/06/01 (Ensaio 4) descrevem evolução típica da perda carga em uma carreira na qual foram realizadas quatro descargas de fundo intermediárias. Também foram acompanhadas carreiras com maiores e menores números de descargas (Anexo C).

Na carreira de 16/06/0 a 25/06/01 (Ensaio 5), observou que a partir da perda de carga dos filtros ascendentes atingir 1,40 m, houve diminuição da evolução da perda de carga, confirmada pela diminuição do ângulo de inclinação da reta. A taxa de crescimento da perda de carga que era 9,75 cm/h passou para 2,5 cm/h (Figuras C.25, C.26 e C.27), simultaneamente, com a deterioração da qualidade dos efluentes dos módulos (Figuras C.28, C.29 e C.30).

Na carreira de 25/06/01-04/07/01 (Ensaio 6) a turbidez dos filtros não sofreu grandes influências em relação às descargas de fundo. O pico entre a 4^o e a 7^o hora de funcionamento ocorreu devido a lavagem em seqüência dos três filtros descendentes, o que sobrecarregou a unidade I. No filtro descendente, no entanto, a turbidez não ultrapassou 1uT (FIGURAS C.31 a C.36).

Os filtros ascendentes tiveram as carreiras encerradas entre 0,57m e 1,46m, comprovando falta de controle operacional nas lavagens que eram realizadas sem critério algum (TABELA 5.6).

TABELA 5.6 – Perda de carga final nas unidades de dupla filtração.

Ensaio		Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6
Nº Descargas		2	4	3	4	5	4
Perda de carga no FAI		112	108	57	76	146	116
final da carreira na FAII		135	111	120	80	145	115
unidade (cm) FAIII		132	111	100	77	145	116

5.2.8 Contagem de partículas

Em relação à água bruta, apesar da relativamente alta a eficiência de remoção para diversas faixas de tamanho de partículas, observou que a maior eficiência de remoção situou-se na faixa de tamanho de 4 a 10 μm (TABELA D.04), tanto no filtro ascendente como no descendente, na unidade I. Comportamento semelhante foi observado em filtros das outras unidades, conforme observado nas FIGURAS 5.23 a 5.29.

FIGURA 5.23 - Porcentagem remanescente de partículas na unidade I.

FIGURA 5.24 - Porcentagem remanescente de partículas na unidade II.

FIGURA 5.25 - Porcentagem remanescente de partículas na unidade III.

FIGURA 5.26 – Distribuição de tamanho das partículas na água bruta.

Na água bruta a maioria das partículas teve tamanho médio abaixo de 10 μm (FIGURA 5.26). Esse perfil de distribuição das partículas na água bruta foi muito semelhante aos perfis das partículas no efluente dos filtros.

FIGURA 5.27 – Distribuição de tamanho de partículas remanescentes na unidade I

FIGURA 5.28 – Distribuição de tamanho de partículas remanescentes na unidade II

FIGURA 5.29 – Distribuição de tamanho de partículas remanescentes na unidade III

Partículas maiores que 10 μm tiveram suas quantidades bastante reduzida na água filtrada final (saída dos descendentes), com valores freqüentemente abaixo de 10 part / ml.

A remoção nos filtros ascendentes foram relativamente alta, apesar de as camadas de areia estarem totalmente misturadas. Nos filtros descendentes, considerada como afluentes a água pré filtrada do filtro ascendente, a eficiência algumas vezes, foi baixa, dependendo do tamanho da partícula chegou a 16% (TABELA 5.7), devido provavelmente à situação do meio filtrante e a problemas na

coagulação (caminhos preferenciais). Este fato levou a conclusão que, quanto menor o número de partículas no afluente de um filtro, menor, sua eficiência de remoção.

TABELA 5.7 – Eficiência de remoção do filtros descendentes em relação aos efluentes dos filtros ascendentes

Tamanho (μm)	FDI	FDII	FDIII
2,01a 4,0	67,44	59,76	61,67
4,01a 6,0	63,85	54,46	63,85
6,01a 8,0	64,74	51,94	63,64
8,01a 10,0	64,41	51,85	65,08
10,01a 12,0	65,67	46,05	57,71
12,01a 16,0	61,63	38,35	53,73
16,01a 24	45,52	38,49	58,47
>24	33,11	16,49	68,51

5.2.9 Produção efetiva de água

Na TABELA 5.8 nota-se que a produção efetiva de água, geralmente resultou baixa, pois ocorreu desperdício de água com lavagens e descargas de fundo (intermediárias ou finais). Isso foi devido: às baixas taxas de filtração, pois a ETA2 tem funcionado com vazão de 20 a 30 L/s, à dosagens excessivas de coagulante e à falta de controle operacional das lavagens, realizadas por tempo fixado de operação e não por perda de carga limite.

TABELA 5.8 – Produção efetiva mensal na ETA 2.

Volume Gasto (m3)								
	Produção	nº lavagens		Descargas	lavagens		Descargas	Produção
	Total	F. Asc.	F. Desc.	F. Asc.	F. Asc.	F.Desc.	F.Asc.	Efetiva
Fevereiro	8532000	8	12	53	432000	468000	127200	7504800
Março	18383040	24	19	87	1296000	741000	208800	16137240
Abril	18891360	22	10	96	1029600	330000	201600	17330160
Maiο	12074760	12	9	62	561600	297000	130200	11085960
Junho	10051560	12	4	60	561600	132000	126000	9231960
Julho	11270160	12	6	57	561600	198000	119700	10390860

FIGURA 5.30 – Relações entre a produção total, gastos e produção efetiva.

Na FIGURA 5.30 observa-se que nos meses de março e abril houve maiores gastos com lavagens e descargas, o que não impediu que fossem alcançadas maiores produções efetivas, justificadas por taxas, relativamente mais elevadas, adotadas nesses meses. Nota-se também que, quanto maior a produção maior a tendência para maior gasto de água com lavagens e descargas.

E interessante relatar que durante metade do mês de abril, apenas as unidades II e III funcionaram; embora a unidade I ficasse parada, a vazão da estação, foi alta o que ocasionou alta produção efetiva.

TABELA 5.9 – Produção efetiva mensal na ETA 2 em porcentagem.

	Prod. Total	descargas	Lavagens	Prod efetiva
Fevereiro	100	1,5	10,5	88,0
Março	100	1,1	11,1	87,8
Abril	100	1,1	7,2	91,7
Maio	100	1,1	7,1	91,8
Junho	100	1,3	6,9	91,8
Julho	100	1,1	6,7	92,2

FIGURA 5.31 – Relações entre a produção total, gastos e produção efetiva.

Analisando-se a FIGURA 5.31, observa-se que nos meses de fevereiro e março de 2001 as produções efetivas ficaram abaixo de 90%, e nos meses subsequentes foram obtidos valores maiores. Isso se deve ao fato de, no final de março, ter sido aconselhada a diminuição das lavagens, muitas vezes desnecessárias, bem como diminuição da dosagem de coagulante.

5.3 Terceira Etapa

5.3.1 Influência das descargas de fundo e lavagens na qualidade física e bacteriológica da água produzida.

As lavagens dos filtros ascendentes foram realizadas em seqüência (FAI, FAII e FAIII), com água clorada e sem correção de pH, pois os filtros estavam ligados a uma câmara comum de carga e funcionavam como vasos comunicantes.

As descargas de fundo intermediárias nos filtros ascendentes também eram realizadas em seqüência e, em média, duravam cerca de 5 min (nos três filtros). Em relação à turbidez dos efluentes, após essas descargas de fundo, foram observados pequenos picos e tendência dos filtros retornarem a valor de turbidez próximo ao valor antes da descarga. Não houve a influência do pH, pois usou-se água clorada, sem correção final de pH (ANEXO E).

No início da carreira de 07/05/01 (FIGURAS E.01, E.02, E.03), são mostrados valores de pH e de turbidez dos efluentes dos filtros da unidade I durante cerca de 4 horas de funcionamento. Durante a lavagem de um filtro os outros eram sobrecarregados e, em consequência disso, não foi significativa a deterioração da água e o pH não teve grande influência nos filtros ascendentes e descendentes. A turbidez na unidade I (ver Figura E.01), evoluiu de forma semelhante à descrita por CRUZ VELEZ (1993) (ver FIGURA e.3.6).

Os filtros descendentes eram lavados independentemente e esse fato fez diminuir o problema de sobrecarga dos demais. Em consequência de a água utilizada para lavagem ser clorada e sem correção de pH, os filtros descendentes, quando lavados, apresentaram picos muito baixos e, durante a lavagem, não se conseguiu estipular um modelo típico (FIGURAS E.26 a E.31).

Em relação à qualidade bacteriológica, as descargas de fundo tiveram pouca influência nos filtros ascendentes II e III o mesmo não foi observado com o filtro

ascendente I, o qual muitas vezes apontou efluente com valores relativamente altos de NMP de coliformes totais e *Escherichia coli* (FIGURAS 5.32 e 5.33). Comportamento semelhante foi observado nos filtros descendentes.

O interessante é que, quando da realização do ensaio, os filtros comportaram-se relativamente bem, sem picos de turbidez elevados, depois das descargas, por isso os picos bacteriológicos não foram elevados a ponto de comprometer a eficácia da desinfecção.

TABELA 5.10 – Variação da qualidade bacteriológica dos filtros ascendentes ao longo da carreira (NMP/100ml)

T. func.(min)	Bruta		Filtro A I		Filtro A II		Filtro A III	
	C. Totais	E. coli	C. Totais	E. coli	C. Totais	E. coli	C. Totais	E. coli
0	3654	187	43,5	2	36,4	3	48,8	2
15			7,4	0				
20			7,4	1	5,2	<1	7,4	<1
25								
30			8,6	1	12,2	<1	9,8	1
525	5794	546						
539			172,5	48	4,1	0	12	3,1
540	6131	839	D1	D1	D1	D1	D1	D1
555			258,9	69,7	15,8	0	18,1	3,1
1305	5794	238						
1319			201,2	15,8	6,3	1	34,5	1
1320	3873	345	D2	D2	D2	D2	D2	D2
1335			435,2	16,1	18,3	<1	39,3	1
1725	4352	379						
1739			106,7	48,1	1	0	41,9	4,1
1740	4884	269	D3	D3	D3	D3	D3	D3
1755			166,9	30,5	39,3	2	48	5,2
2205	4611	663						
2219			3,1	<1	29,9	1	46,4	6,3
2220	4160	305	D4	D4	D4	D4	D4	D4
2235			6,3	<1	34,1	2	69,1	14,8
2760	3873	717	39,9	2	21,3	<1	31,4	3,1

FIGURA 5.32– Variação dos coliformes totais ao longo da carreira nos filtros ascendentes

Após as descargas nem sempre houve deterioração da qualidade da água. Algumas vezes houve melhoria, devido à precoce coleta, enquanto ainda havia água de lavagem no filtro que, por ser clorada, concorreu para a melhoria do efluente.

A análise independente das três unidades, mostrou que existiram diferenças na deterioração após as descargas. A unidade I e a unidade III foram as mais prejudicadas pois as mesmas recebem diferentes quantidades de coagulante. No entanto a unidade I teve seus efluentes menos prejudicados, visto ser a única que recebia coagulante em quantidade apropriada, nem insuficiente nem em excesso, como ocorreu nas unidades I e III, respectivamente.

FIGURA 5.33– Variação do número de E. Coli ao longo da carreira nos filtros ascendentes

TABELA 5.11 – Variação da qualidade bacteriológica dos filtros descendentes ao longo da carreira (NMP/100ml)

T. func.(min)	Bruta		Filtro DI		Filtro DII		Filtro DIII	
	C. Totais	E. coli	C. Totais	E. coli	C. Totais	E. coli	C. Totais	E. coli
0								
15								
20								
25								
30								
525	5794	546						
539			156,5	24,3	<1	<1	<1	<1
540	6131	839	D1	D1	D1	D1	D1	D1
570			238,2	65	1	<1	<1	<1
1305	5794	238						
1319			238	6,5	0	0	0	0
1320	3873	345	D2	D2	D2	D2	D2	D2
1350			238,2	14,6	0	0	0	0
1725	4352	379						
1739			116	57,1	<1	<1	<1	<1
1740	4884	269	D3	D3	D3	D3	D3	D3
1770			166,4	30,7	1	0	0	0
2205	4611	663						
2219			6,3	2	<1	<1	<1	<1
2220	4160	305	D4	D4	D4	D4	D4	D4
2250			9,6	<1	<1	<1	<1	<1
2760	3873	717	41	1	<1	<1	<1	<1

5.3.2 Intermitência do funcionamento da ETA2

Em princípio, paralisação e reinício de funcionamento têm apenas efeitos indiretos na qualidade da água. Toda vez que a ETA2 foi posta em funcionamento, era preciso acertar a dosagem de sulfato de alumínio e, muitas vezes, isso ocasionava degradação do efluente porque não havia critério racional para fixação das condições de coagulação (dosagem de sulfato de alumínio e pH de coagulação).

As FIGURAS F.01 e F.02, de 22/05/01 apresentam valores de turbidez da água bruta e dos efluentes dos filtros, no início de funcionamento, quando foi aplicada dosagem excessiva de coagulante. No início do funcionamento, os filtros apresentaram efluentes com turbidez baixa, mas, com o decorrer do tempo, houve deterioração de seus efluentes. O filtro descendente III chegou a produzir efluente com turbidez acima de 1uT, provavelmente devido à alta concentração de coagulante.

No início de funcionamento da ETA2 em 22/05/01 e em 09/05/01, a qualidade dos efluentes dos filtros tenderam sempre a ter qualidade melhor na unidade I e piores nas unidades II e III, respectivamente. No início de funcionamento aos 23/05/01 e 29/05/01, as unidades I e III tenderam a ter os piores efluentes (Anexo F).

5.3.3 Caminhos preferenciais (curto-circuitos).

Devido à ineficiente mistura da solução do coagulante à água bruta, a água coagulada encaminhada à cada unidade de dupla filtração resultava diferente, o que pode ser observado na Tabela 5.12, na qual são apresentados valores de turbidez e do potencial zeta de amostras coletadas na entrada de cada filtro, em diversos dias dos meses de junho e julho de 2001.

Enquanto o FAI algumas vezes trabalhou com água bruta praticamente sem coagulante, os efluentes dos filtros FAII e FAIII muitas vezes chegaram próximos à zona de reestabilização, comprovando ineficiência da mistura da solução de coagulante à água bruta e existência de caminhos preferenciais, que acarretou prejuízos à qualidade da água pré-filtrada e filtrada. Isso foi confirmado pela diferença do pH da água coagulada na entrada dos filtros.

TABELA 5.12 – Resumo dos potenciais zeta da entrada dos filtros.

Data	Turbidez (uT)				Potencial Zeta			
	Bruta	FAI	FAII	FAIII	Bruta	FAI	FAII	FAIII
09/06/2001	14,1	2,75	0,45	2,15	-18	-19,5	-1,5	9,8
11/06/2001	16	0,9	2,5	4,75	-13	-13,8	0,9	9
17/06/2001	12,7	0,68	0,77	2,37	-20,9	-2,8	0,5	10,3
20/06/2001	11,5	0,73	0,57	1,22	-21,2	0,2	-1,3	0,3
24/06/2001	11,8	2,3	0,7	2,4	-17,8	7,9	12,8	12,5
28/06/2001	13,5	0,32	0,22	0,62	-23,8	-25,2	3	12,4
02/07/2001	12	0,28	0,6	2,2	-20,2	-19,9	15,3	15,8
04/07/2001	11,3	0,5	0,31	1,38	-19,1	-10,8	12,6	14,5

Na carrega de 01/05/01 a 07/05/01 (Ensaio 1), observou-se o fato de a unidade I ter sido posta em funcionamento apenas depois de 19 horas de funcionamento, o que colaborou para o surgimento de caminhos preferenciais (FIGURAS G.01 a G.03). Detectou-se, ainda, a existência de caminhos preferenciais mesmo quando os três módulos começaram a funcionar juntos.

De modo geral, verificou-se grande dificuldade do coagulante para chegar à unidade I e facilidade para chegar à unidade III. Isso sugeriu existência de problemas no injetor de coagulante, que podia estar entupido ou não alinhado ao centro da tubulação, mas inclinado para um dos lados, o que fez com que o coagulante se misture de forma desuniforme com conseqüente criação de caminhos preferenciais (Anexo G).

5.4 Quarta Etapa

5.4.1 Taxas de filtração

Durante operação simultânea da ETA2 e da Instalação Piloto, procurou-se manter, em ambas, as mesmas taxas de filtração nos filtros ascendentes e descendentes. As taxas foram determinadas na instalação piloto pelo método volumétrico e na real pelas régua nas saídas das caixas niveladoras dos módulos, conforme exposto anteriormente (Figura 5.34).

FIGURA 5.34— Variações das taxas nos filtros da ETA real e Instalação Piloto.

5.4.2 Coagulação e Qualidade dos efluentes

Tanto na ETA 2 quanto na piloto, as dosagens foram mantidas aproximadamente iguais e verificadas a cada hora. Na ETA 2, a dosagem esteve um pouco acima da piloto, com desvio padrão = 0.58 (ver FIGURA 5.35).

FIGURA 5.35 – Variação da dosagem nas instalações real e piloto.

O início do funcionamento de ambas as ETAs (real e piloto) foi acompanhado mais detalhadamente e verificou-se que, dependendo do filtro da ETA real com o qual se fizesse a comparação existia pouca ou nenhuma semelhança com a Instalação Piloto (FIGURAS H.01 e H.02, anexo H).

As diferenças na qualidade da água filtrada ocorreram principalmente devido à ineficiência da mistura de coagulante à água bruta. Além do pH, foi medido o potencial zeta dos afluentes aos filtros ascendentes. Na FIGURA 5.36 são mostrados os valores de potencial zeta dos afluentes aos filtros ascendentes, notando-se diferença significativa desse parâmetro. Observou-se que, algumas vezes, o filtro ascendente da unidade I recebia água coagulada com potencial zeta próximo ao da água bruta; algumas vezes a água coagulada afluente ao filtro ascendente da unidade III, esteve com potencial zeta positivo e maior que o potencial dos afluentes às outras unidades, confirmando que ele recebia mais coagulante. Isso pôde ser confirmado pelo potencial zeta da água coagulada na instalação piloto, que recebia dosagem semelhante à ETA2.

FIGURA 5.36 –Potencial zeta da água coagulada na ETA real e coagulada na instalação piloto.

A diferença de potencial zeta da água coagulada afluenta as unidades da ETA real ocasionou diferenças na qualidade do efluente pré-filtrado e final, conforme visto nas FIGURAS 5.37 e 5.38.

FIGURA 5.37 – Influência da coagulação na ETA real; e instalação piloto na turbidez do efluente dos filtros ascendentes.

FIGURA 5.38 – Influência da coagulação na ETA real e instalação piloto dos efluentes dos filtros descendentes.

Depois da realização de descargas e depois das lavagens, o filtro piloto teve água de qualidade melhor que a dos outros filtros; apenas os filtros da unidade II assemelharam-se algumas vezes aos pilotos (FIGURAS H.02 a H.13).

5.4.3 Perda de Carga

A perda de carga inicial foi maior nos filtros ascendentes da ETA2 se comparada à perda no Filtro ascendente da instalação piloto. Enquanto nos primeiros a areia estava completamente misturada, podendo ser visualmente observada a presença de areia na camada suporte e os tubos piezométricos para a medição da perda de carga, localizavam-se antes do sistema de distribuição de água coagulada do fundo dos filtros, no filtro piloto ascendente a areia encontrava-se totalmente estratificada. A taxa de crescimento de perda de carga nos filtros ascendente da ETA2 foi muito maior que as taxas de crescimento nos filtros ascendentes da instalação piloto, comprovando o alto grau de mistura dos filtros ascendentes da ETA2 (TABELA 5.13).

TABELA 5.13 – Taxa de crescimento do nível de água dentro dos filtros ascendentes entre as descargas de fundo intermediárias.

Período entre as Descargas	Taxa de Crescimento (cm/ h)			
	FAI	FAII	FAIII	FAP
0-1	6,26	6,24	6,24	1,48
1-2	9,68	9,68	10,8	2,7
2-3	-	10,32	10,32	3,30
3-4	11,89	12,66	12,66	4,70
4-R	9,34	10,13	9,75	2,69
R-F	4,84	5,02	4,93	1,46

FAI- filtro ascendente real I; FAII – filtro ascendente real II; FAIII – filtro ascendente real III; FAP – filtro ascendente piloto; R – retrolavagem; F - final do ensaio.

Em relação à perda de carga nos filtros descendentes, foram sincronizados o filtro descendente piloto e o filtro descendente II, notando-se no piloto, perda de carga com evolução mais rápida, com necessidade de duas lavagens; enquanto o filtro real não precisou ser lavado. Isso se deveu ao fato de o filtro descendente II da ETA2 ter meio filtrante com granulometria maior (1,41 a 0,42mm), que a do filtro descendente piloto que tinham grãos de até 0,30mm (FIGURAS H14 a H21).

5.4.4 Qualidade bacteriológica do efluente

Para determinação da qualidade bacteriológica, tanto nos filtros pilotos quanto nos filtros da ETA2, as amostras foram coletadas no início e no final da carreira. No início da carreira, o efluente do filtro piloto ascendente apresentou qualidade melhor que a dos efluentes dos filtros ascendentes da ETA2 (TABELA 5.14). Mas, no final da carreira, o efluente produzido no filtro ascendente piloto resultou qualidade pior que a do filtro ascendente III. A qualidade do efluente do filtro descendente piloto foi semelhante à dos filtros descendentes II e III no início da carreira e melhor que a do filtro descendente I. Porém, no final da carreira, o filtro descendente piloto apresentou qualidade semelhante ao filtro descendente III. Essas

diferenças na qualidade do efluente dos filtros, ocorreram, provavelmente, devido à existência de caminhos preferenciais (curto-circuitos).

TABELA 5.14 – Qualidade bacteriológica durante a simulação.

	Início da carreira		Final da carreira	
	Coliformes		Coliformes	
	Totais	E.coli	Totais	E. coli
Água Bruta	4106	146,7	2613	161
Efluente do FAI	52,9	3,1	410,6	35
Efluente do FAII	4,1	< 1	62	22,6
Efluente do FAIII	62,7	3,1	2	1
Efluente do FDI	47,1	< 1	71,2	26,2
Efluente do FDII	1	< 1	3,1	1
Efluente do FDIII	< 1	< 1	< 1	< 1
Efluente do FAP	< 1	< 1	8,6	2
Efluente do FDP	< 1	< 1	< 1	< 1

FA – Filtro Ascendente Real; FD – Filtro Descendente Real; FAP – Filtro Ascendente Piloto; FDP – Filtro Descendente Piloto.

6 – CONCLUSÕES

Com base nas considerações teóricas e nos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento da pesquisa, concluiu-se que:

- As descargas de fundo muitas vezes foram realizadas de modo desigual, o que levou à sistemáticas variações das taxas de filtração em cada ciclo completo de filtração dos três módulos;
- Confirmou-se que camadas de areia dos filtros ascendentes e descendentes encontram-se misturadas, o que ocasionou má distribuição de impurezas;
- Observou-se que algumas vezes o coagulante foi preparado de modo impróprio, o que ocasionou deterioração da qualidade da água tratada;
- A falta de areia nos filtros ascendentes muitas vezes causou o carregamento de flocos até às calhas de coleta de água filtrada, o que aumentou a turbidez dos efluentes e diminuiu a duração da carreira dos descendentes;
- Tanto a lavagem quanto a aplicação de água na interface pedregulho-areia grossa do filtro ascendente, foram realizadas com água proveniente do reservatório elevado, sem controle preciso da vazão usada, o que ocasionou mistura do meio filtrante dos filtros descendentes e, algumas vezes, ineficiência da lavagem e das descargas de fundo intermediárias nos filtros ascendentes;
- A água bruta teve pH entre 6,2 a 7,3 e alcalinidade entre 7 a 10 mg/l dispensando o uso de alcalinizante na época da realização do trabalho;
- Em relação à contagem de partículas, pode-se garantir que, na água filtrada final de todas as unidades, foi baixa a probabilidade da existência de microrganismos de tamanho acima de 10 μm .

- Devido às baixas taxas de operação, excessivas dosagens e falta de um controle das lavagens dos filtros da ETA, a produção efetiva de água filtrada em geral foi baixa (em torno de 90%);
- As descargas de fundo intermediárias não afetaram diretamente a qualidade física e bacteriológica do efluente dos filtros ascendentes;
- O desempenho, algumas vezes insatisfatório das unidades de filtração ascendente e descendente, foi devido, principalmente: à existência de caminhos preferenciais, à falta de areia nos filtros ascendentes e à diferença de granulometria nos filtros descendentes.
- Conforme expectativas, devido à mistura de areia nos filtros da ETA2, o desenvolvimento da perda de carga nos filtros ascendentes da ETA2, foi mais rápido que o da instalação piloto de meio filtrante estratificado. A evolução da perda de carga nos filtros descendentes da ETA2, foi menor que no filtro piloto, porque este possuía areia com tamanho e grãos de 1,41 à 0,30 mm e camada de 0,70 m enquanto os filtros da ETA2 tinham grãos de 1,41 à 0,42 mm e camada com espessura total de 0,60 m.
- Comparada à instalação piloto, ficou clara a existência de caminhos preferenciais na ETA real, os três filtros trabalharam em regiões diferentes de coagulação, confirmadas pelo potencial zeta .

7 RECOMENDAÇÕES

Em relação a aspectos de projeto recomenda-se:

7.1 Granulometria da areia e camada suporte

7.1.1 Filtros ascendentes

Seja adotado meio filtrante com menor número de sub camadas para diminuir o problema de mistura por erros operacionais; mas a altura total da areia (espessura) de 1,60m deve ser mantida. Propõe-se usar areia de granulometria grossa com grãos entre 1,00 a 2,38mm, com coeficiente de desuniformidade (CD) < 1,7, preferivelmente próximo a 1,5, D_{10} próximo a 1,2 e D_{60} próximo a 1,8. Essa areia deve ser de mesma granulometria da colocada em duas camadas superpostas conforme TABELA 7.1.

TABELA 7.1 – Espessuras e granulometria propostas para as camadas de areia.

SUBCAMADA	ESPESSURA (cm)	TAMANHO DOS GRÃOS (mm)
Superior	65	1,68- 1,00
Inferior	95	2,38 – 1,68

Fonte: GUSMÃO, 2001

Na camada suporte pode ser mantida a mesma granulometria e espessura de 0,80m, visto que a tubulação de água na interface está localizada em altura pré-estabelecida para a camada existente. Diminuir a espessura da camada suporte , poderia acarretar problemas com a tubulação existente.

No caso de alteração na camada suporte, sugere-se usar sete camadas, com o aumento uma subcamada, segundo Tabela 7.2:

TABELA 7.2 – Espessuras e granulometria proposta para as camadas suporte.

SUBCAMADA	ESPESSURA (cm)	TAMANHAO (mm)
1	10	15,9 – 9,6
2	10	9,6 – 4,8
3	20	4,8 – 2,4
4	10	9,6 – 4,8
5	10	15,9 – 9,6
6	10	25,4 – 15,9
7	10	31,7 – 25,4

Fonte : GUSMÃO (2001)

7.1.2 Filtros Descendentes

Sugere-se aumentar para 0,70m a camada de areia, com grãos entre 1,41 a 0,30mm; coeficiente de desuniformidade (CD) $\leq 1,7$ preferivelmente próximo a 1,5; D_{10} entre 0,40 e 0,50 e D_{60} próximo a 0,7; semelhante a areia usada na instalação piloto e colocação de camada suporte de 0,40m.

7.2 Lavagem dos filtros

Atualmente as lavagens de filtros da ETA são feitas com água proveniente do reservatório elevado que serve, também, de distribuição para a população (FIGURA 7.1). Não há controle da vazão enviada para os filtros na hora da lavagem o que, muitas vezes, ocasiona perda de material (vazões altas) ou lavagens ineficientes (vazões baixas); por isso sugerem algumas alterações para se conseguir obter melhor controle das vazões de lavagens.

FIGURA 7.1 Perfil hidráulico atual da estação para as lavagens.

Solução 1

A solução 1 consiste na construção, em cota mais baixa de um reservatório destinado apenas à lavagens dos filtros, que dependeria de uma válvula para manter a vazão dentro de limites que possibilitem estimativa mínima e máxima da expansão da areia e evite que ela se desestratifique, que se perca pelas calhas devido à alta expansão ou que a lavagem seja ineficiente, devido à baixa expansão.

FIGURA 7.2- Solução 1 para lavagens dos filtros.

Solução 2

A solução 2 consiste na construção de reservatório semi-enterrado ou não, destinado à lavagens dos filtros. O controle das vazões seria feito por meio de bombas e haveria muito bom controle da expansão dos materiais filtrantes. Poderia ser adotado o uso de duas bombas; duas ligadas à lavagem dos filtros ascendentes e uma para realização de descargas de fundo nos ascendentes e lavagem dos filtros descendentes.

FIGURA 7.3 – Solução 2 para a lavagens dos filtros.

7.3 Injeção de sulfato de alumínio

Os caminhos preferenciais devem ser causados principalmente pela má distribuição do coagulante, provavelmente devido a algum problema no sistema atual de injeção de mistura e distribuição do coagulante, semelhante ao da Figura 7.4.

FIGURA 7.4 – Sistema típico de injeção e mistura de coagulante em tubulações.

Atualmente o coagulante é injetado logo após a câmara de carga (Figura 7.5). Sugere-se injeção do coagulante antes da câmara de carga, para prevenir problemas em caso de o injetor ser danificado (entupir orifícios, entortar, etc), o coagulante seria misturado novamente na câmara de carga e a malha difusora poderia ser mantida no mesmo local (Figura 7.5).

FIGURA 7.5 – Situação atual de injeção e solução proposta.

7.4 Divisão da câmara de carga

Para evitar lavagem ou descarga de fundo intermediárias nos três filtros, em sequência, propõe-se divisão da câmara de carga em três partes e alimentação, independentemente em cada filtro.

Solução 1

Dividir a câmara de carga em três partes e alimenta-las por vertedores triangulares conforme a FIGURA 7.6:

FIGURA 7.6 Esquema para divisão das câmaras individuais.

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Desenvolver estudos semelhantes a este, em estações de tratamento de dupla filtração que já se apresentem otimizadas;
- Feitas as modificações sugeridas, pesquisar a eficiência da ETA2;
- Evitar problemas operacionais através de treinamento adequado de atuais e futuros operadores de estação que utilizam esse sistema;
- Usar menor número de subcamadas de areia, em futuras instalações de dupla filtração;
- Evitar a utilização da mesma câmara de carga para todas as unidades. Utilizar preferencialmente, uma câmara de carga para cada unidade de dupla filtração.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMITHARAJAH, A.; MILLS, K. M. (1982). *Rapid mix design for mechanisms of coagulation*. Journal of the American Water Works Association, v. 76, n. 4, p. 210-216, Apr.
- ARBOLEDA, J. V. (1977). *Filtros de Flujo Ascendente: aspecto de proyecto*. In: IX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977. Anais V.3, P108-117.
- CASTILLA MIRANDA, S. J. (1997). *Influência da Mistura dos grãos de areia no desempenho da filtração direta ascendente*. São Carlos 154p Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CRUZ VELEZ, C. H. (1993) *Filtração direta ascendente com alta taxa*. São Carlos. 220p Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DA CUNHA, H. R. & STORTI, M. G. (1991) *Tratamento de água por Dupla Filtração – Inovações e Potencialidades*. 16º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, Goiânia, 1991 anais V.2 t.2.
- DE PAULA, D., KURODA, E. K., DI BERNARDO, L. *Dupla Filtração para Tratamento de Água de Abastecimento Utilizando Pré-Filtro de Areia Grossa com Escoamento Ascendente*. São Carlos – Relatório Final do PROSAB 3, Nov. 2001.

- DI BERNARDO, L. (1993a) *Filtração direta ascendente*. In: *Métodos e técnicas de tratamento de água* v I e II. ABES, Rio de Janeiro.
- DI BERNARDO, L.; PATERNIANI, J. E. S. (1986). *Influência das descargas de fundo intermediárias durante o funcionamento de instalações de filtração ascendente*. In: XX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária e Ambiental. Guatemala, 1986. Anais. Guatemala.
- DI BERNARDO, L.; YATSUGAFU, P., H. (1987). *Estudos sobre influência da taxa de filtração, do NMP de coliformes totais do afluente e do número de descargas de fundo intermediárias na qualidade do efluente de sistemas de filtração direta ascendente*. In: 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 1987. Anais. V.2, t.II, p.402-421.
- DI BERNARDO, L. (1999) *Curso de tecnologias para tratamento de águas*. Seminário Sobre novas tecnologias em saneamento. São Carlos. 13p.
- DI BERNARDO, L. (2001) Notas de aula “*tecnologias apropriadas para tratamento de água*”. EESC. São Carlos.
- DI BERNARDO, L. ISAAC, R.L. (2001) *Upflow direct filtration – a review*. Trabalho apresentado em *International Conference on advances in Rapid Granular Filtration in Water and Wastewater Treatment*. Imperial College, London, UK.
- FERNANDES, L. C. (1987) *Influências das características da camada suporte e dos métodos de descargas de fundo intermediárias no desempenho de sistemas de filtração direta ascendente*. São Carlos 297 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo.
- GUSMÃO, P.T.R (2001) *Utilização de filtração direta ascendente como pré-tratamento à filtração rápida descendente para tratamento de água para*

- abastecimento*. São Carlos, 2001. 355p (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GRINPLATSCH, B., S. (1971) *Nova técnica de filtração em uso no Brasil*. In: VI Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária. São Paulo, 1971. Anais, ABES. v1,p97-101.
- HELLER et all (1999) *Avaliação da Eficiência e Aplicabilidade do Processo de Filtração Direta Ascendente no Tratamento de Água, Utilizando Dados Secundários*. 20º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, Rio de Janeiro, anais cd room.
- ISAAC, R. L. (1997) *Influência da disposição inicial dos grãos de areia na eficiência da filtração direta ascendente*. São Carlos. 174p Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo.
- LARA PINTO, D. M. C. (1994). *Estudo das influências das dosagens de produtos químicos na filtração direta ascendente de alta taxa*. São Carlos. 194 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MEGDA, C. R. (1999). *Filtração direta ascendente em pedregulho como pré tratamento à filtração rápida descendente*. São Carlos. 169 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MENDES, C. G. N.(1985). *Estudo da influência das dosagens de produtos químicos na filtração direta ascendente*. São Carlos. 117 p Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- RICHTER, C. A.(1977). *Filtração ascendente e descendente: Aspectos operacionais*. In: 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG, 1977. Anais. ABES. V3, p 216-280.

- TEIXEIRA, B. A. N. (1986). Influência das características da camada suporte e da areia na eficiência da filtração direta ascendente. São Carlos, SP 194p. Dissertação (mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

9 ANEXOS

Anexo A

- **Tabela para medição das vazões;**
- **Esquemas da ETA2;**
- **Tabelas dos ensaios granulométricos das areias.**

Altura (m)	CD	Vazão Q (l/s)	Altura (m)	CD	Vazão Q (l/s)
0,001	1,8	0,2	0,047	0,6	18,9
0,002	1,2	0,3	0,048	0,6	19,5
0,003	1,0	0,5	0,049	0,6	20,1
0,004	0,9	0,6	0,05	0,6	20,7
0,005	0,8	0,8	0,051	0,6	21,3
0,006	0,8	1,1	0,052	0,6	21,9
0,007	0,8	1,3	0,053	0,6	22,6
0,008	0,7	1,5	0,054	0,6	23,2
0,009	0,7	1,8	0,055	0,6	23,8
0,01	0,7	2,1	0,056	0,6	24,5
0,011	0,7	2,4	0,057	0,6	25,1
0,012	0,7	2,7	0,058	0,6	25,8
0,013	0,7	3,0	0,059	0,6	26,5
0,014	0,7	3,3	0,06	0,6	27,1
0,015	0,7	3,6			
0,016	0,7	4,0			
0,017	0,7	4,3			
0,018	0,7	4,7			
0,019	0,7	5,1			
0,02	0,7	5,5			
0,021	0,7	5,9			
0,022	0,7	6,3			
0,023	0,6	6,7			
0,024	0,6	7,1			
0,025	0,6	7,5			
0,026	0,6	8,0			
0,027	0,6	8,4			
0,028	0,6	8,9			
0,029	0,6	9,3			
0,03	0,6	9,8			
0,031	0,6	10,3			
0,032	0,6	10,8			
0,033	0,6	11,3			
0,034	0,6	11,8			
0,035	0,6	12,3			
0,036	0,6	12,8			
0,037	0,6	13,3			
0,038	0,6	13,8			
0,039	0,6	14,4			
0,04	0,6	14,9			
0,041	0,6	15,5			
0,042	0,6	16,0			
0,043	0,6	16,6			
0,044	0,6	17,2			
0,045	0,6	17,7			
0,046	0,6	18,3

Esquema A.01 - Planta baixa dos filtros : Sem escala

Esquema A.02 - Vista dos filtros e da casa de química : Sem escala

Esquema A.03 - Vista dos filtros : Sem escala

Quadro A.01 – Tabelas dos ensaios granulométricos dos filtros ascendentes

Filtro Ascendente I						
Peneira #	Peso Ret (g)	% ret	% acum	%pass	Xi	Xi/Di
2,38	13,61	1,36	1,36	98,64	0,014	
2,00	39,83	3,98	5,34	94,66	0,040	0,012
1,68	148,39	14,84	20,18	79,82	0,148	0,052
1,41	114,73	11,47	31,66	68,34	0,115	0,048
1,19	202,11	20,21	51,87	48,13	0,202	0,101
1,00	351,59	35,16	87,03	12,97	0,352	0,208
0,84	81,46	8,15	95,18	4,82	0,081	0,057
0,71	41,73	4,17	99,35	0,65	0,042	0,035
0,59	2,49	0,25	99,60	0,40	0,002	0,002
0,42	2,26	0,23	99,83	0,17	0,002	0,003
fundo	1,74	0,17	100,00	0,00	0,002	0,519
	999,94	100			Deq=	1,928
Filtro Ascendente II						
Peneira #	Peso Ret (g)	% ret	% acum	%pass	Xi	Xi/Di
2,38	6,00	0,60	0,60	99,40	0,006	
2,00	37,88	3,79	4,39	95,61	0,038	0,011
1,68	96,58	9,67	14,07	85,93	0,097	0,034
1,41	116,20	11,64	25,71	74,29	0,116	0,049
1,19	183,41	18,37	44,08	55,92	0,184	0,092
1,00	413,32	41,40	85,47	14,53	0,414	0,245
0,84	70,39	7,05	92,52	7,48	0,071	0,050
0,71	63,06	6,32	98,84	1,16	0,063	0,053
0,59	3,81	0,38	99,22	0,78	0,004	0,004
0,42	3,89	0,39	99,61	0,39	0,004	0,005
fundo	3,89	0,39	100,00	0,00	0,004	0,542
	998,43	100			Deq=	1,846
Filtro Ascendente III						
Peneira #	Peso Ret (g)	% ret	% acum	%pass	Xi	Xi/Di
2,38	18,56	1,86	1,86	98,14	0,019	
2,00	46,65	4,68	6,54	93,46	0,047	0,014
1,68	156,70	15,71	22,25	77,75	0,157	0,055
1,41	110,08	11,04	33,29	66,71	0,110	0,046
1,19	217,78	21,84	55,13	44,87	0,218	0,109
1,00	326,89	32,78	87,92	12,08	0,328	0,194
0,84	75,73	7,59	95,51	4,49	0,076	0,053
0,71	36,85	3,70	99,21	0,79	0,037	0,031
0,59	3,50	0,35	99,56	0,44	0,004	0,003
0,42	2,27	0,23	99,79	0,21	0,002	0,003
fundo	2,13	0,21	100,00	0,00	0,002	0,509
	997,14				Deq=	1,964

Quadro A.02 – Tabelas dos ensaios granulométricos dos filtros descendentes

Filtro Descendente I						
Peneira #	Peso Ret (g)	% ret	% acum	%pass	Xi	Xi/Di
2,38	0,09	0,01	0,01	99,99	0,000	
2,00	0,07	0,01	0,02	99,98	0,000	0,000
1,68	0,21	0,02	0,04	99,96	0,000	0,000
1,41	0,27	0,03	0,06	99,94	0,000	0,000
1,19	5,52	0,55	0,62	99,38	0,006	0,003
1,00	105,87	10,62	11,24	88,76	0,106	0,063
0,84	94,33	9,46	20,70	79,30	0,095	0,067
0,71	385,62	38,68	59,39	40,61	0,387	0,324
0,59	200,10	20,07	79,46	20,54	0,201	0,200
0,42	169,46	17,00	96,46	3,54	0,170	0,212
0,30	27,66	2,77	99,23	0,77	0,028	0,049
fundo	7,63	0,77	100,00	0,00	0,008	0,917
	996,83	100,00			Deq=	1,090
Filtro Descendente II						
Peneira #	Peso Ret (g)	% ret	% acum	%pass	Xi	Xi/Di
2,38	0,02	0,00	0,00	100,00	0,000	
2,00	0,10	0,01	0,01	99,99	0,000	0,000
1,68	0,39	0,04	0,05	99,95	0,000	0,000
1,41	0,43	0,04	0,09	99,91	0,000	0,000
1,19	9,46	0,93	1,03	98,97	0,009	0,005
1,00	103,45	10,20	11,23	88,77	0,102	0,060
0,84	59,72	5,89	17,11	82,89	0,059	0,041
0,71	397,41	39,18	56,30	43,70	0,392	0,328
0,59	211,37	20,84	77,14	22,86	0,208	0,207
0,42	204,25	20,14	97,27	2,73	0,201	0,252
0,30	21,59	2,13	99,40	0,60	0,021	0,037
fundo	6,06	0,60	100,00	0,00	0,006	0,931
	1014,25	100,00			Deq=	1,074
Filtro Descendente III						
Peneira #	Peso Ret (g)	% ret	% acum	%pass	Xi	Xi/Di
2,38	0,48	0,05	0,05	99,95	0,000	
2,00	1,51	0,15	0,20	99,80	0,002	0,000
1,68	1,46	0,15	0,35	99,65	0,001	0,001
1,41	6,34	0,64	0,99	99,01	0,006	0,003
1,19	84,87	8,54	9,53	90,47	0,085	0,043
1,00	398,90	40,14	49,67	50,33	0,401	0,238
0,84	143,39	14,43	64,10	35,90	0,144	0,102
0,71	295,81	29,77	93,87	6,13	0,298	0,249
0,59	31,75	3,20	97,07	2,93	0,032	0,032
0,42	27,21	2,74	99,80	0,20	0,027	0,034
0,30	0,99	0,10	99,90	0,10	0,001	0,002
fundo	0,95	0,10	100,00	0,00	0,001	0,702
	993,66	100,00			Deq=	1,424

Anexo B

- **Figuras demonstrando o acompanhamento das carreiras de fevereiro e março nas três unidades.**

Figura B.01- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.02- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.03- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.04- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.05- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.06- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.07- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.08- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.09- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.10- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.11- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.12- Acompanhamento de carreiras no módulo I

Figura B.13- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.14- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.15- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.16- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.17- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.18- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.19- Acompanhamento de carreiras no módulo II

Figura B.20- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.21- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.22 - Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.23- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.24- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.25- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.26- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.27- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Figura B.28- Acompanhamento de carreiras no módulo III

Anexo C

- **Figuras demonstrando a evolução da perda de carga nos filtros e sua influência na qualidade dos efluentes.**

Quadro C.01 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FAI	FAII	FAIII	FAI	FAII	FAIII
07/05/2001	1				91,67		
07/05/2001	2				132,01	25,67	
07/05/2001	3	16	14	12	67,23	77,01	48,89
07/05/2001	4				62,34	67,23	67,23
07/05/2001	5	21	19	16	62,34	72,12	67,23
07/05/2001	6	29	22	19	62,34	72,12	72,12
08/05/2001	7	26	24	21	57,45	67,23	67,23
08/05/2001	8				52,56	67,23	72,12
08/05/2001	9	31	29	26	52,56	62,34	72,12
08/05/2001	10				62,34	67,23	72,12
08/05/2001	11	36	35	32	62,34	67,23	72,12
08/05/2001	12	40	39	36	57,45	67,23	72,12
09/05/2001	13	49	47	45	62,34	62,34	72,12
09/05/2001	14				57,45	67,23	72,12
09/05/2001	15	56	55	52	57,45	67,23	72,12
09/05/2001	16	22	22	21	62,34	67,23	67,23
09/05/2001	17	26	26	24	62,34	67,23	67,23
09/05/2001	18				72,12	67,23	72,12
10/05/2001	19	40	40	38	67,23	67,23	67,23
10/05/2001	20				72,12	62,34	72,12
10/05/2001	21	50	51	49	72,12	67,23	72,12
10/05/2001	22				72,12	67,23	72,12
10/05/2001	23	60	61	59	72,12	67,23	72,12
10/05/2001	24				67,23	67,23	72,12
10/05/2001	25	77	79	76	67,23	57,45	72,12
10/05/2001	26	44	47	43	77,01	57,45	67,23
10/05/2001	27	54	55	48	81,89	57,45	67,23
11/05/2001	28	67	68	70	67,23	57,45	81,89
11/05/2001	29				67,23	67,23	67,23
11/05/2001	30	85	87	83	67,23	62,34	67,23
11/05/2001	31				67,23	62,34	67,23
11/05/2001	32	97	100	96	72,12	52,56	67,23
11/05/2001	33				72,12	81,89	72,12
11/05/2001	34	107	110	106	72,12	44,00	67,23
11/05/2001	35				72,12	44,00	72,12
11/05/2001		112	135	132	72,12	48,89	67,23

Quadro C.02 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)		Taxa de filtração (m3/m2.dia)			
		FDI	FDII	FDIII	FDI	FDII	FDIII
07/05/2001	1	60			132,01		
07/05/2001	2				190,09	36,96	
07/05/2001	3	76	78	67	96,81	110,89	70,40
07/05/2001	4				89,77	96,81	96,81
07/05/2001	5	72	82	114	89,77	103,85	96,81
07/05/2001	6	68	83	125	89,77	103,85	103,85
08/05/2001	7	67	64	116	82,73	96,81	96,81
08/05/2001	8				75,69	96,81	103,85
08/05/2001	9	69	74	132	75,69	89,77	103,85
08/05/2001	10				89,77	96,81	103,85
08/05/2001	11	81	92	142	89,77	96,81	103,85
08/05/2001	12	92	105	150	82,73	96,81	103,85
09/05/2001	13	93	149	136	89,77	89,77	103,85
09/05/2001	14				82,73	96,81	103,85
09/05/2001	15	100	158	158	82,73	96,81	103,85
09/05/2001	16	112	161	154	89,77	96,81	96,81
09/05/2001	17	109	162	161	89,77	96,81	96,81
09/05/2001	18				103,85	96,81	103,85
10/05/2001	19	116	105	167	96,81	96,81	96,81
10/05/2001	20				103,85	89,77	103,85
10/05/2001	21	42	57	54	103,85	96,81	103,85
10/05/2001	22				103,85	96,81	103,85
10/05/2001	23	43	58		103,85	96,81	103,85
10/05/2001	24			60	96,81	96,81	103,85
10/05/2001	25	43	58	68	96,81	82,73	103,85
10/05/2001	26	43	55	77	110,89	82,73	96,81
10/05/2001	27	42	55	81	117,93	82,73	96,81
11/05/2001	28	41	45	68	96,81	82,73	117,93
11/05/2001	29				96,81	96,81	96,81
11/05/2001	30	43	44	78	96,81	89,77	96,81
11/05/2001	31				96,81	89,77	96,81
11/05/2001	32	44	44	90	103,85	75,69	96,81
11/05/2001	33				103,85	117,93	103,85
11/05/2001	34	46	45	97	103,85	63,36	96,81
11/05/2001	35				103,85	63,36	103,85
11/05/2001	36	47	48	104	103,85	70,40	96,81

Figura C. 01 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 02 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 03 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C.04 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.05 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.06- Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Quadro C.03 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FAI	FAII	FAIII	FAI	FAII	FAIII
20/05/2001	1	20	19	17	67,23	86,78	67,23
20/05/2001	2				67,23	67,23	67,23
20/05/2001	3	29	28	26	62,34	67,23	77,01
20/05/2001	4				62,34	72,12	77,01
20/05/2001	5	34	33	30	62,34	72,12	77,01
21/05/2001	6	45	44	41	67,23	72,12	72,12
21/05/2001	7				62,34	67,23	77,01
21/05/2001	8	53	52	49	62,34	72,12	72,12
21/05/2001	9				67,23	67,23	77,01
21/05/2001	10	61	60	57	62,34	67,23	67,23
21/05/2001	11	26	25	24	62,34	57,45	62,34
21/05/2001	12	35	29	28	67,23	67,23	67,23
21/05/2001	13				67,23	67,23	72,12
21/05/2001	14	48	47	45	67,23	67,23	77,01
22/05/2001	15	59	58	56	57,45	67,23	67,23
22/05/2001	16				67,23	67,23	67,23
22/05/2001	17	70	71	69	67,23	67,23	67,23
22/05/2001	18				67,23	67,23	67,23
22/05/2001	19	79	80	78	67,23	67,23	67,23
22/05/2001	20	47	48	45	67,23	67,23	67,23
23/05/2001	21	54	55	53	62,34	67,23	72,12
23/05/2001	22	72	75	72	77,01	67,23	77,01
23/05/2001	23				77,01	62,34	67,23
23/05/2001	24	84	88	85	77,01	62,34	67,23
23/05/2001	25				81,89	57,45	67,23
23/05/2001	26	98	101	100	81,89	57,45	67,23
24/05/2001	27	41	43	41	67,23	57,45	72,12
24/05/2001	28				72,12	67,23	72,12
24/05/2001	29	67	68	67	77,01	67,23	67,23
24/05/2001	30				77,01	67,23	67,23
24/05/2001	31	88	91	90	72,12	67,23	67,23
24/05/2001	32	95	98	97	77,01	67,23	67,23
25/05/2001	33				72,12	67,23	67,23
25/05/2001	34	114	117	116	72,12	67,23	67,23
25/05/2001	35				81,89	72,12	67,23
25/05/2001	36	140	130	129	77,01	52,56	67,23
25/05/2001	37	148	136	136	77,01	62,34	67,23
26/05/2001	38	143	131	133	81,89	62,34	67,23
26/05/2001	39				81,89	67,23	62,34
26/05/2001	40	159	147	148	81,89	67,23	67,23
26/05/2001	41	74	61	60	86,78	67,23	72,12
26/05/2001	42	100	90	89	86,78	62,34	67,23
26/05/2001	43				81,89	62,34	67,23
26/05/2001	44	121	111	110	86,78	67,23	67,23
26/05/2001	45				81,89	62,34	57,45
27/05/2001	46	85	85	85	67,23	67,23	67,23
27/05/2001	47				72,12	67,23	67,23
27/05/2001	48	103	105	105	72,12	67,23	67,23
27/05/2001	49	108	111	111	72,12	67,23	67,23

Quadro C.04 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros descendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FDI	FDII	FDIII	FDI	FDII	FDIII
20/05/2001	1	58	127	55	96,81	124,97	96,81
20/05/2001	2				96,81	96,81	96,81
20/05/2001	3	64	148	72	89,77	96,81	110,89
20/05/2001	4				89,77	103,85	110,89
20/05/2001	5	67	154	78	89,77	103,85	110,89
21/05/2001	6	67	94	73	96,81	103,85	103,85
21/05/2001	7				89,77	96,81	110,89
21/05/2001	8	67	105	83	89,77	103,85	103,85
21/05/2001	9				96,81	96,81	110,89
21/05/2001	10	71	123	90	89,77	96,81	96,81
21/05/2001	11				89,77	82,73	89,77
21/05/2001	12	76	146	93	96,81	96,81	96,81
21/05/2001	13				96,81	96,81	103,85
21/05/2001	14	73	162	102	96,81	96,81	110,89
22/05/2001	15	72	100	98	82,73	96,81	96,81
22/05/2001	16				96,81	96,81	96,81
22/05/2001	17	74	112	102	96,81	96,81	96,81
22/05/2001	18				96,81	96,81	96,81
22/05/2001	19	81	127	107	96,81	96,81	96,81
22/05/2001	20	82	139	113	96,81	96,81	96,81
23/05/2001	21	81	114	93	89,77	96,81	103,85
23/05/2001	22	55	63	64	110,89	96,81	110,89
23/05/2001	23				110,89	89,77	96,81
23/05/2001	24	58	68	70	110,89	89,77	96,81
23/05/2001	25				117,93	82,73	96,81
23/05/2001	26	61	80	73	117,93	82,73	96,81
24/05/2001	27	85	150	115	96,81	82,73	103,85
24/05/2001	28				103,85	96,81	103,85
24/05/2001	29	56	80	74	110,89	96,81	96,81
24/05/2001	30				110,89	96,81	96,81
24/05/2001	31	62	100	83	103,85	96,81	96,81
24/05/2001	32	63	108	85	110,89	96,81	96,81
25/05/2001	33				103,85	96,81	96,81
25/05/2001	34	62	96	63	103,85	96,81	96,81
25/05/2001	35				117,93	103,85	96,81
25/05/2001	36				110,89	75,69	96,81
25/05/2001	37	57	123	74	110,89	89,77	96,81
26/05/2001	38	60	128	85	117,93	89,77	96,81
26/05/2001	39				117,93	96,81	89,77
26/05/2001	40	59	106	67	117,93	96,81	96,81
26/05/2001	41				124,97	96,81	103,85
26/05/2001	42	78	101	81	124,97	89,77	96,81
26/05/2001	43				117,93	89,77	96,81
26/05/2001	44	76	107	90	124,97	96,81	96,81
26/05/2001	45				117,93	89,77	82,73
27/05/2001	46	65	103	90	96,81	96,81	96,81
27/05/2001	47				103,85	96,81	96,81
27/05/2001	48	75	112	75	103,85	96,81	96,81
27/05/2001	49				103,85	96,81	96,81

Figura C. 07 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 08 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 09 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C.10 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.11 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.12 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Quadro C.05 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FAI	FAII	FAIII	FAI	FAII	FAIII
27/05/2001	1	21	21	18	67,23	67,23	67,23
27/05/2001	2	25	25	23	67,23	67,23	67,23
27/05/2001	3	28	29	27	67,23	52,56	67,23
28/05/2001	4	46	36	33	67,23	52,56	67,23
28/05/2001	5				67,23	62,34	67,23
28/05/2001	6	61	51	48	67,23	57,45	67,23
28/05/2001	7				67,23	57,45	72,12
28/05/2001	8	71	61	58	67,23	67,23	67,23
28/05/2001	9	35	25	23	67,23	67,23	67,23
29/05/2001	10	49	37	34	72,12	67,23	67,23
29/05/2001	11				72,12	67,23	67,23
29/05/2001	12	63	51	48	72,12	67,23	67,23
29/05/2001	13				77,01	62,34	67,23
29/05/2001	14	77	65	62	77,01	62,34	67,23
30/05/2001	15	34	36	35	81,89	67,23	67,23
30/05/2001	16				81,89	62,34	67,23
30/05/2001	17	52	54	52	67,23	62,34	67,23
30/05/2001	18				67,23	62,34	72,12
30/05/2001	19	64	68	66	62,34	62,34	67,23
31/05/2001	20	74	79	78	81,89	52,56	57,45
31/05/2001	21				86,78	52,56	62,34
31/05/2001	22	71	78	78	86,78	48,89	62,34
31/05/2001	23				91,67	57,45	48,89
31/05/2001	24	74	82	82	113,67	67,23	67,23
31/05/2001	25	45	52	49	91,67	44,00	40,34
31/05/2001	26	60	70	68	91,67	57,45	40,34
01/06/2001	27	63	72	71	108,79	44,00	48,89
01/06/2001	28				86,78	57,45	62,34
01/06/2001	29	51			119,79	44,00	44,00
01/06/2001	30				67,23	113,67	91,67
01/06/2001	31	76			67,23	102,67	97,78
01/06/2001	32		148	149	67,23	108,79	91,67
01/06/2001	33		135	138	91,67	108,79	77,01
02/06/2001	34	57	51	50		77,01	67,23
02/06/2001	35					77,01	72,12
02/06/2001	36		76	77		81,89	67,23
02/06/2001	37					81,89	72,12
02/06/2001	38		124	126		91,67	81,89
03/06/2001	39		60	62		67,23	44,00
03/06/2001	40					67,23	44,00
03/06/2001	41		137	139		108,79	91,67
03/06/2001	42					113,67	91,67
03/06/2001	43		144	142		97,78	91,67
03/06/2001	44					91,67	113,67
03/06/2001	45		120	100		97,78	108,79

Quadro C.06 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros descendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm) taxa de filtração (m3/m2.dia)					
		FDI	FDII	FDIII	FDI	FDII	FDIII
27/05/2001	1				96,81	96,81	96,81
27/05/2001	2	108	192	118	96,81	96,81	96,81
27/05/2001	3				96,81	75,69	96,81
28/05/2001	4	51	75	57	96,81	75,69	96,81
28/05/2001	5				96,81	89,77	96,81
28/05/2001	6	57	87	64	96,81	82,73	96,81
28/05/2001	7				96,81	82,73	103,85
28/05/2001	8	72	91	68	96,81	96,81	96,81
28/05/2001	9				96,81	96,81	96,81
29/05/2001	10	47	77	61	103,85	96,81	96,81
29/05/2001	11				103,85	96,81	96,81
29/05/2001	12	73	73	63	103,85	96,81	96,81
29/05/2001	13				110,89	89,77	96,81
29/05/2001	14	79	75	70	110,89	89,77	96,81
30/05/2001	15	67	62	58	117,93	96,81	96,81
30/05/2001	16				117,93	89,77	96,81
30/05/2001	17	73	65	67	96,81	89,77	96,81
30/05/2001	18				96,81	89,77	103,85
30/05/2001	19	79	67	73	89,77	89,77	96,81
31/05/2001	20	74	92	52	117,93	75,69	82,73
31/05/2001	21				124,97	75,69	89,77
31/05/2001	22	87	88	52	124,97	70,40	89,77
31/05/2001	23				132,01	82,73	70,40
31/05/2001	24	95	125	56	163,69	96,81	96,81
31/05/2001	25				132,01	63,36	58,08
31/05/2001	26	115	76	68	132,01	82,73	58,08
01/06/2001	27	102	40	47	156,65	63,36	70,40
01/06/2001	28				124,97	82,73	89,77
01/06/2001	29	44			172,49	63,36	63,36
01/06/2001	30				96,81	163,69	132,01
01/06/2001	31	50			96,81	147,85	140,81
01/06/2001	32		104	83	96,81	156,65	132,01
01/06/2001	33		115	75	96,81	156,65	110,89
02/06/2001	34	66	119	57		110,89	96,81
02/06/2001	35					110,89	103,85
02/06/2001	36		146	62		117,93	96,81
02/06/2001	37					117,93	103,85
02/06/2001	38					132,01	117,93
03/06/2001	39		101	49		96,81	63,36
03/06/2001	40					96,81	63,36
03/06/2001	41		160	80		156,65	132,01
03/06/2001	42					163,69	132,01
03/06/2001	43		146	102		140,81	132,01
03/06/2001	44					132,01	163,69
03/06/2001	45		88	156		140,81	156,65

Figura C. 13 - Gráfico da variação da vazão e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 14 - Gráfico da variação da vazão e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 15 - Gráfico da variação da vazão e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C.16 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.17 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.18- Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Quadro C.07 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (carga de filtração (m3/m2.dia))					
		FAI	FAII	FAIII	FAI	FAII	FAIII
11/06/2001	1	18	18	16	62,34	72,12	72,12
11/06/2001	2				67,23	67,23	72,12
11/06/2001	3	18	19	16	67,23	67,23	72,12
11/06/2001	4				67,23	67,23	67,23
11/06/2001	5	28	28	26	67,23	67,23	67,23
11/06/2001	6				67,23	72,12	77,01
11/06/2001	7	37	37	34	67,23	67,23	77,01
12/06/2001	8	24	24	21	62,34	62,34	67,23
12/06/2001	9				67,23	67,23	72,12
12/06/2001	10	34	34	30	67,23	67,23	81,89
12/06/2001	11				67,23	67,23	77,01
12/06/2001	12	47	47	43	67,23	67,23	77,01
12/06/2001	13				67,23	67,23	72,12
12/06/2001	14	58	58	54	67,23	67,23	86,78
13/06/2001	15	25	26	23	67,23	67,23	72,12
13/06/2001	16				67,23	62,34	72,12
13/06/2001	17	47	48	45	67,23	67,23	72,12
13/06/2001	18				67,23	67,23	77,01
13/06/2001	19	56	57	53	67,23	57,45	77,01
13/06/2001	20				72,12	57,45	81,89
13/06/2001	21	67	69	64	72,12	57,45	81,89
14/06/2001	22	29	31	28	67,23	62,34	67,23
14/06/2001	23				72,12	62,34	67,23
14/06/2001	24	52	54	51	72,12	67,23	77,01
14/06/2001	25				77,01	67,23	72,12
14/06/2001	26	68	70	66	77,01	62,34	77,01
14/06/2001	27				72,12	62,34	72,12
14/06/2001	28	77	81	76	77,01	62,34	77,01
15/06/2001	29	37	41	38	81,89	67,23	72,12
15/06/2001	30				81,89	67,23	72,12
15/06/2001	31	60	64	61	91,67	67,23	72,12
15/06/2001	32				91,67	67,23	77,01
15/06/2001	33	76	80	77	91,67	67,23	72,12

Quadro C.08 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros descendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FDI	FDII	FDIII	FDI	FDII	FDIII
11/06/2001	1	65	75	78	89,77	103,85	103,85
11/06/2001	2				96,81	96,81	103,85
11/06/2001	3	64	78	78	96,81	96,81	103,85
11/06/2001	4				96,81	96,81	96,81
11/06/2001	5	84	100	110	96,81	96,81	96,81
11/06/2001	6				96,81	103,85	110,89
11/06/2001	7	86	109	127	96,81	96,81	110,89
12/06/2001	8	58	70	80	89,77	89,77	96,81
12/06/2001	9				96,81	96,81	103,85
12/06/2001	10	60	79	106	96,81	96,81	117,93
12/06/2001	11				96,81	96,81	110,89
12/06/2001	12	62	83	126	96,81	96,81	110,89
12/06/2001	13				96,81	96,81	103,85
12/06/2001	14	65	80	134	96,81	96,81	124,97
13/06/2001	15	57	66	88	96,81	96,81	103,85
13/06/2001	16				96,81	89,77	103,85
13/06/2001	17	67	66	108	96,81	96,81	103,85
13/06/2001	18				96,81	96,81	110,89
13/06/2001	19	67	67	120	96,81	82,73	110,89
13/06/2001	20				103,85	82,73	117,93
13/06/2001	21	69	66	133	103,85	82,73	117,93
14/06/2001	22	58	63	88	96,81	89,77	96,81
14/06/2001	23				103,85	89,77	96,81
14/06/2001	24	70	68	115	103,85	96,81	110,89
14/06/2001	25				110,89	96,81	103,85
14/06/2001	26	71	65	134	110,89	89,77	110,89
14/06/2001	27				103,85	89,77	103,85
14/06/2001	28	74	62	145	110,89	89,77	110,89
15/06/2001	29	84	70	120	117,93	96,81	103,85
15/06/2001	30				117,93	96,81	103,85
15/06/2001	31	87	71	141	132,01	96,81	103,85
15/06/2001	32				132,01	96,81	110,89
15/06/2001	33	95	68	158	132,01	96,81	103,85

Figura C. 19 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 20 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 21 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C.22 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.23 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.24 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Quadro C.09 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FAI	FAII	FAIII	FAI	FAII	FAIII
16/06/2001	1	18	17	16	67,23	72,12	72,12
16/06/2001	2				67,23	77,01	72,12
16/06/2001	3	24	24	22	67,23	77,01	77,01
16/06/2001	4				72,12	67,23	86,78
16/06/2001	5	32	32	29	77,01	67,23	81,89
16/06/2001	6				67,23	67,23	86,78
16/06/2001	7	39	38	34	72,12	72,12	81,89
17/06/2001	8				67,23	67,23	67,23
17/06/2001	9	25	25	23	67,23	67,23	67,23
17/06/2001	10				67,23	67,23	67,23
17/06/2001	11	32	33	30	67,23	67,23	72,12
17/06/2001	12				67,23	62,34	67,23
17/06/2001	13	42	43	39	67,23	67,23	67,23
17/06/2001	14				67,23	67,23	67,23
17/06/2001	15	50	50	47	67,23	67,23	67,23
17/06/2001	16				72,12	67,23	67,23
17/06/2001	17	60	60	57	67,23	67,23	67,23
19/06/2001	18	44	44	44	62,34	57,45	86,78
19/06/2001	19				62,34	57,45	81,89
19/06/2001	20	61	62	62	67,23	57,45	81,89
19/06/2001	21				67,23	67,23	67,23
19/06/2001	22	77	78	78	67,23	67,23	67,23
20/06/2001	23	33	34	33	67,23	62,34	67,23
20/06/2001	24				67,23	62,34	67,23
20/06/2001	25	52	53	52	67,23	62,34	67,23
21/06/2001	26				67,23	67,23	97,78
21/06/2001	27	77	80	78	67,23	67,23	72,12
21/06/2001	28				67,23	67,23	67,23
21/06/2001	29	88	90	88	72,12	62,34	67,23
21/06/2001	30				72,12	62,34	67,23
21/06/2001	31	96	99	96	72,12	62,34	67,23
23/06/2001	32	59	61	59	72,12	62,34	67,23
23/06/2001	33				91,67	67,23	67,23
23/06/2001	34	79	83	81	91,67	67,23	72,12
23/06/2001	35	87	92	90	97,78	67,23	77,01
24/06/2001	36	56	60	57	67,23	48,89	57,45
24/06/2001	37				77,01	62,34	67,23
24/06/2001	38	83	86	84	77,01	62,34	67,23
24/06/2001	39				77,01	62,34	67,23
24/06/2001	40	102	105	103	77,01	62,34	67,23
24/06/2001	41				77,01	62,34	67,23
25/06/2001	42				81,89	67,23	67,23
25/06/2001	43				72,12	67,23	67,23
25/06/2001	44	141	140	140	67,23	72,12	67,23
25/06/2001	45				67,23	72,12	67,23
25/06/2001	46	146	145	145	72,12	72,12	67,23

Quadro C.10 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros descendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FDI	FDII	FDIII	FDI	FDII	FDIII
16/06/2001	1	67	89	102	96,81	103,85	103,85
16/06/2001	2				96,81	110,89	103,85
16/06/2001	3	78	100	173	96,81	110,89	110,89
16/06/2001	4				103,85	96,81	124,97
16/06/2001	5	85	67	153	110,89	96,81	117,93
16/06/2001	6				96,81	96,81	124,97
16/06/2001	7	85	69	178	103,85	103,85	117,93
17/06/2001	8				96,81	96,81	96,81
17/06/2001	9	85	64	102	96,81	96,81	96,81
17/06/2001	10				96,81	96,81	96,81
17/06/2001	11	93	72	132	96,81	96,81	103,85
17/06/2001	12				96,81	89,77	96,81
17/06/2001	13	111	83	158	96,81	96,81	96,81
17/06/2001	14				96,81	96,81	96,81
17/06/2001	15	67	93	132	96,81	96,81	96,81
17/06/2001	16				103,85	96,81	96,81
17/06/2001	17	78	103	165	96,81	96,81	96,81
19/06/2001	18	67	71	161	89,77	82,73	124,97
19/06/2001	19				89,77	82,73	117,93
19/06/2001	20	67	77	183	96,81	82,73	117,93
19/06/2001	21				96,81	96,81	96,81
19/06/2001	22	72	84	190	96,81	96,81	96,81
20/06/2001	23	77	76	198	96,81	89,77	96,81
20/06/2001	24				96,81	89,77	96,81
20/06/2001	25	77	77	186	96,81	89,77	96,81
21/06/2001	26				96,81	96,81	140,81
21/06/2001	27	86	73	90	96,81	96,81	103,85
21/06/2001	28				96,81	96,81	96,81
21/06/2001	29	89	72	98	103,85	89,77	96,81
21/06/2001	30				103,85	89,77	96,81
21/06/2001	31	92	73	106	103,85	89,77	96,81
23/06/2001	32	87	73	99	103,85	89,77	96,81
23/06/2001	33				132,01	96,81	96,81
23/06/2001	34	109	81	130	132,01	96,81	103,85
23/06/2001	35	112	80	136	140,81	96,81	110,89
24/06/2001	36	86	66	122	96,81	70,40	82,73
24/06/2001	37				110,89	89,77	96,81
24/06/2001	38	62	53	73	110,89	89,77	96,81
24/06/2001	39				110,89	89,77	96,81
24/06/2001	40	62	54	83	110,89	89,77	96,81
24/06/2001	41				110,89	89,77	96,81
25/06/2001	42				117,93	96,81	96,81
25/06/2001	43				103,85	96,81	96,81
25/06/2001	44	62	74	102	96,81	103,85	96,81
25/06/2001	45				96,81	103,85	96,81
25/06/2001	46				103,85	103,85	96,81

Figura C. 25 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 26 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 27 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C.28 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.29 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.30 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Quadro C.11 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros ascendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FAI	FAII	FAIII	FAI	FAII	FAIII
25/06/2001	1	19	19	18	72,12	72,12	67,23
25/06/2001	2				72,12	72,12	67,23
25/06/2001	3				72,12	67,23	67,23
26/06/2001	4	27	27	25	91,67	91,67	97,78
26/06/2001	5				77,01	72,12	77,01
26/06/2001	6	34	34	31	67,23	67,23	77,01
26/06/2001	7				67,23	67,23	77,01
26/06/2001	8	41	41	38	67,23	67,23	77,01
27/06/2001	9	51	52	49	86,78	52,56	72,12
27/06/2001	10	33	35	32	81,89	67,23	81,89
27/06/2001	11				77,01	48,89	72,12
27/06/2001	12	46	47	45	72,12	57,45	67,23
28/06/2001	13	49	50	49	91,67	91,67	91,67
28/06/2001	14				81,89	67,23	67,23
28/06/2001	15	64	66	64	81,89	67,23	77,01
29/06/2001	16	69	72	70	91,67	67,23	67,23
29/06/2001	17				91,67	62,34	72,12
29/06/2001	18	82	86	84	86,78	57,45	67,23
29/06/2001	19				91,67	52,56	67,23
29/06/2001	20	89	95	93	91,67	48,89	67,23
29/06/2001	21				91,67	48,89	67,23
30/06/2001	22	103	109	106	91,67	57,45	91,67
30/06/2001	23	51	55	51	91,67	57,45	91,67
30/06/2001	24				86,78	62,34	86,78
30/06/2001	25	60	64	60	81,89	62,34	81,89
30/06/2001	26				72,12	62,34	77,01
30/06/2001	27	77	80	77	72,12	67,23	77,01
01/07/2001	28	90	93	90	91,67	67,23	81,89
01/07/2001	29	95	99	96	86,78	48,89	67,23
01/07/2001	30	39	43	34	91,67	48,89	67,23
01/07/2001	31				81,89	48,89	67,23
01/07/2001	32				81,89	48,89	67,23
02/07/2001	33	49	50	49	86,78	67,23	72,12
02/07/2001	34				72,12	67,23	67,23
02/07/2001	35	69	70	69	77,01	67,23	72,12
02/07/2001	36				77,01	67,23	72,12
02/07/2001	37	82	83	82	86,78	67,23	72,12
02/07/2001	38	60	63	61	91,67	67,23	72,12
02/07/2001	39				86,78	67,23	72,12
03/07/2001	40	72	73	72	81,89	67,23	67,23
03/07/2001	41				77,01	67,23	67,23
03/07/2001	42	93	94	93	81,89	67,23	67,23
03/07/2001	43				81,89	67,23	62,34
03/07/2001	44	105	106	105	77,01	67,23	67,23
03/07/2001	45				77,01	67,23	67,23
04/07/2001	46	115	116	115	86,78	67,23	67,23

Quadro C.12 -Variação da taxa e perda de carga nos filtros descendentes

Data	Tempo	Perda de carga (cm)			Taxa de filtração (m3/m2.dia)		
		FDI	FDII	FDIII	FDI	FDII	FDIII
25/06/2001	1				103,85	103,85	96,81
25/06/2001	2	122	112	140	103,85	103,85	96,81
25/06/2001	3				103,85	96,81	96,81
26/06/2001	4	110	113	160	132,01	132,01	140,81
26/06/2001	5				110,89	103,85	110,89
26/06/2001	6	19	58	82	96,81	96,81	110,89
26/06/2001	7				96,81	96,81	110,89
26/06/2001	8	51	61	93	96,81	96,81	110,89
27/06/2001	9	48	53	70	124,97	75,69	103,85
27/06/2001	10	58	45	77	117,93	96,81	117,93
27/06/2001	11				110,89	70,40	103,85
27/06/2001	12	59	61	79	103,85	82,73	96,81
28/06/2001	13	66	69	81	132,01	132,01	132,01
28/06/2001	14				117,93	96,81	96,81
28/06/2001	15	60	51	58	117,93	96,81	110,89
29/06/2001	16	56	48	51	132,01	96,81	96,81
29/06/2001	17				132,01	89,77	103,85
29/06/2001	18	61	46	56	124,97	82,73	96,81
29/06/2001	19				132,01	75,69	96,81
29/06/2001	20	68	44	62	132,01	70,40	96,81
29/06/2001	21				132,01	70,40	96,81
30/06/2001	22	81	54	60	132,01	82,73	132,01
30/06/2001	23	81	47	73	132,01	82,73	132,01
30/06/2001	24				124,97	89,77	124,97
30/06/2001	25				117,93	89,77	117,93
30/06/2001	26				103,85	89,77	110,89
30/06/2001	27				103,85	96,81	110,89
01/07/2001	28	58	40	63	132,01	96,81	117,93
01/07/2001	29	61	44	65	124,97	70,40	96,81
01/07/2001	30	76	32	63	132,01	70,40	96,81
01/07/2001	31				117,93	70,40	96,81
01/07/2001	32				117,93	70,40	96,81
02/07/2001	33	61	56	70	124,97	96,81	103,85
02/07/2001	34				103,85	96,81	96,81
02/07/2001	35	55	58	77	110,89	96,81	103,85
02/07/2001	36				110,89	96,81	103,85
02/07/2001	37	55	62	87	124,97	96,81	103,85
02/07/2001	38	76	64	98	132,01	96,81	103,85
02/07/2001	39				124,97	96,81	103,85
03/07/2001	40	62	57	90	117,93	96,81	96,81
03/07/2001	41				110,89	96,81	96,81
03/07/2001	42	66	58	100	117,93	96,81	96,81
03/07/2001	43				117,93	96,81	89,77
03/07/2001	44	66	63	101	110,89	96,81	96,81
03/07/2001	45				110,89	96,81	96,81
04/07/2001	46	65	60	80	124,97	96,81	96,81

Figura C. 31 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 32 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C. 33 - Gráfico da variação da taxa e perda de carga em função dos filtros ascendentes

Figura C.34 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.35 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Figura C.36 - Gráfico da variação da turbidez ao longo da carreira em função do filtro ascendente

Anexo D

- Quadros referentes à expansão da areia em relação à altura manométrica do reservatório elevado;
- Quadros da remoção de partículas em porcentagem e em número de partículas remanescentes.

Quadro D.01 –Variação da expansão em relação a altura manométrica

Módulo I Filtro Ascendente			Filtro Descendente		
Carreira período	Altura manométrica da caixa(m)	Exp(%)	Carreira período	Altura manométrica da caixa(m)	Exp(%)
20/02-24/02	16	17,2	21/02-24/02	15.5	50
05/03-09/03	16	21,88	05/03-09/03	17	54.2
09/03-13/03	17	40,63*	09/03-15/03	15	52.33
19/03-28/03	16	50*	25/03-26/03	16	75
31/03-04/04	16,5	14.1	26/03-27/03	15	75
04/04-07/04	14,5	20.31	27/03-28/03	16.5	-
07/04-10/04	15/	14.1	28/03-08/04	14	33.33
10/04-11/04	16	33.75			
11/04-16/04	15,5	18.75			
16/04-19/04	16	21.88			

Quadro D.02 –Variação da expansão em relação a altura manométrica

ModuloII Filtro Ascendente			Filtro Descendente		
Carreira período	Altura manométrica da caixa(m)	Exp(%)	Carreira período	Altura manométrica da caixa(m)	Exp(%)
20/02-24/02	15.5	23	21/02-24/02-	15	62.5
05/03-09/03	15.5	23	05/03-09/03	16.5	62.5
09/03-13/03	16	20.31	09/03-14/03	17	62.5
29/03-31/03	14.5	21.88	28/02-04/04	15	37.5
31/03-04/04	16.5	12.06	09/04-20/04	16.5	16.6
04/04-07/04	14.8	21.88			
07/04-10/04	16.5	23.44			
10/04-11/04	16	21.88			
11/04-16/04	16	21.88			
16/04-19/04	15.5	37.5*			

Quadro D.03 –Variação da expansão em relação a altura manométrica

Módulo III			Filtro Descendente		
Filtro Ascendente					
Carreira período	Altura manométrica da caixa(m)	Exp(%)	Carreira período	Altura manométrica da caixa(m)	Exp(%)
20/02-24/02	15	28	21/02-24/02	15	62,5
05/03-09/03	14,5	56,3*	05/03-09/03	16,5	62,5
09/03-13/03	16	17	24/03-27/03	15,5	62,5
19/03-28/03	16	23	27/03-27/03	14	
29/03-31/03	14	26,56	03/04-08/04	15	37,5
31/03-04/04	16,5	50*	08/04-19/04	17	12,5
04/04-07/04	15	25			
07/04-10/04	16	25			
10/04-11/04	16,5	28,13			
11/04-16/04	16,5	15,63			
16/04-19/04	14	12,5			

Quadro D.04 – Eficiência de remoção e partículas remanescentes em porcentagem.

FAI		Remoção		% Remanescente		
Tamanho	Média	Mínima	Máxima	Entrada	FA I	FD I
2,01a 4,0	97,28	93,41	99,74	100,00	2,72	0,89
4,01a 6,0	98,25	95,09	99,80	100,00	1,75	0,60
6,01a 8,0	98,47	95,17	99,82	100,00	1,53	0,49
8,01a 10,0	98,49	95,11	99,77	100,00	1,51	0,47
10,01a 12,0	97,92	94,10	99,64	100,00	2,08	0,64
12,01a 16,0	96,96	92,10	99,58	100,00	3,04	1,14
16,01a 24	96,65	92,01	99,13	100,00	3,35	1,91
>24	93,66	84,72	98,57	100,00	6,34	5,21
FAII		Remoção		% Remanescente		
Tamanho	Média	Mínima	Máxima	Entrada	FA II	FD II
2,01a 4,0	97,93	92,52	99,55	100,00	2,07	0,84
4,01a 6,0	98,36	93,67	99,65	100,00	1,64	0,75
6,01a 8,0	98,63	94,77	99,67	100,00	1,37	0,67
8,01a 10,0	98,61	95,69	99,74	100,00	1,39	0,69
10,01a 12,0	97,96	93,78	99,80	100,00	2,04	1,19
12,01a 16,0	96,36	86,12	99,79	100,00	3,64	2,35
16,01a 24	95,30	82,82	99,44	100,00	4,70	2,99
>24	93,72	84,11	98,03	100,00	6,28	6,54
FAIII		Remoção		% Remanescente		
Tamanho	Média	Mínima	Máxima	Entrada	FA III	FD III
2,01a 4,0	97,35	92,43	99,48	100,00	2,65	1,16
4,01a 6,0	97,61	92,60	99,65	100,00	2,39	1,04
6,01a 8,0	97,84	92,95	99,79	100,00	2,16	0,93
8,01a 10,0	97,53	92,38	99,81	100,00	2,47	0,85
10,01a 12,0	96,66	87,34	99,80	100,00	3,34	1,19
12,01a 16,0	95,03	78,01	99,67	100,00	4,97	1,96
16,01a 24	94,28	74,38	99,32	100,00	5,72	2,16
>24	90,21	66,26	97,94	100,00	9,79	3,54

Quadro D.05 – Quadro de partículas remanescentes no efluente dos filtros.

FAI	Remoção			Partículas Remanescentes		
Tamanho	Média	Mínima	Máxima	Entrada	FA I	FD I
2,01a 4,0	138,26	11,27	328,00	5630,52	138,26	45,01
4,01a 6,0	58,98	5,67	168,47	3706,80	58,98	21,32
6,01a 8,0	26,97	2,67	86,27	1958,04	26,97	9,51
8,01a 10,0	16,77	2,27	54,53	1206,92	16,77	5,97
10,01a 12,0	12,75	2,20	39,60	732,12	12,75	4,38
12,01a 16,0	16,13	2,67	37,20	667,66	16,13	6,19
16,01a 24	14,74	4,27	31,87	504,28	14,74	8,03
>24	16,58	3,87	52,60	252,91	16,58	11,09
FAII	Remoção			Partículas Remanescentes		
Tamanho	Média	Mínima	Máxima	Entrada	FA II	FD II
2,01a 4,0	101,61	19,47	284,00	5630,52	101,61	40,89
4,01a 6,0	54,29	9,73	140,47	3706,80	54,29	24,73
6,01a 8,0	25,32	5,60	54,53	1958,04	25,32	12,17
8,01a 10,0	16,43	2,87	45,73	1206,92	16,43	7,91
10,01a 12,0	12,84	1,60	39,87	732,12	12,84	6,93
12,01a 16,0	18,35	2,07	38,73	667,66	18,35	11,32
16,01a 24	19,17	4,47	44,93	504,28	19,17	11,79
>24	15,77	7,00	39,07	252,91	15,77	13,17
FAIII	Remoção			Partículas Remanescentes		
Tamanho	Média	Mínima	Máxima	Entrada	FA III	FD III
2,01a 4,0	141,26	23,67	376,73	5630,52	141,26	54,14
4,01a 6,0	87,02	13,47	254,00	3706,80	87,02	31,46
6,01a 8,0	43,07	5,00	125,87	1958,04	43,07	15,66
8,01a 10,0	29,22	3,20	84,93	1206,92	29,22	10,20
10,01a 12,0	20,02	2,33	48,20	732,12	20,02	8,47
12,01a 16,0	24,43	4,33	57,67	667,66	24,43	11,30
16,01a 24	22,91	5,07	53,60	504,28	22,91	9,52
>24	23,46	4,27	66,33	252,91	23,46	7,39

Anexo E

- **Quadros e figuras referentes a influências das lavagens nos filtros ascendentes e descendentes e das descargas de fundo nos filtros ascendentes, na qualidade dos efluentes.**

Quadro E.01 - Variação de pH e Turbidez no início da carreira dos filtros ascendentes

Começo da carreira

Data: 07/05/01 Operação: Lavagem dos ascendentes

Tempo (min)	FAI		FDI		FAII		FDII		FAIII		FDIII	
	Turb	pH	Turb	pH	Turb	pH	turb	pH	turb	pH	Turb	pH
0												
5					5,86	5,77	0,74	5,86	1,73	5,27	1,1	5,44
10					0,32	5,77	0,21	5,8	0,58	5,29	0,64	5,4
15	6,78	6,58	2,31	6,65								
20					0,2	6,01	0,12	5,87	0,19	5,8	0,49	5,9
25	5,08	6,54	0,7	6,81								
35	4,06		0,71		0,17		0,17		0,99		0,48	
50	2,28	6,51	0,35	6,4	0,48	5,94	0,19	5,99	1,01	5,33	0,51	5,58
65	2,38	6,31	0,24	6,5					0,99	5,38	0,61	5,37
80	1,69		0,23		8,34		0,11		1,08		0,65	
90	1,06	6,16	0,17	6,27	9,4	6,46	0,19	6,07	1,1	5,37	0,7	5,52
105	1,14	6,23	0,22	6,39	3,17	6,32	0,16	6,3	1,11	5,39	0,64	5,56
120	1,3	6,36	0,15	6,4	2,7	6,39	0,14	6,32	1,04	5,48	0,65	5,7
135	1,23	6,42	0,13	6,79	2,47	6,34	0,27	6,35				
150	1,46	6,37	0,2	6,45	2,3	6,28	0,19	6,36	11,9	6,39	0,61	5,62
160	1,14	6,28	0,14	6,25	1,99	6,25	0,14	6,26	7,15	6,2	0,28	5,36
175	0,83	6,35	0,23	6,57	1,79	6,36	0,2	6,47	7,01	6,19	0,36	5,49
190	0,56	6,4	0,12	6,52	1,57	6,39	0,21	6,45	6,49	6,15	0,78	5,59
205	0,42	6,39	0,12	6,52	1,35	6,21	0,15	6,45	6,28	6,1	1,67	5,73
220	0,28	6,46	0,18	6,55	1,14	6,4	0,14	6,57	5,89	6,08	2,04	5,79
235	0,27	6,49	0,19	6,5	0,84	6,39	0,16	6,4	4,94	6,03	2,14	6,21

Quadro E.02 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes e descendentes

Descarga de fundo 01 as 14:20

pH trat: 6,79

09/05/2001	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,6	0,31	1,4	0,48	3,21	0,62
1			1,8		3,39	
2	0,48				3,58	
3	0,55		1,91			
5	0,61		1,68		3,15	
10	0,46	0,19	1,8	0,08	3,37	0,8
15	0,61	0,47	1,56	0,26	3,31	0,87
20	0,54	0,23	1,54	0,2	3,2	0,76
30	0,45	0,25	1,5	0,17	3,17	0,64
40	0,57	0,1	1,74	0,23	3,28	0,6
50	0,73	0,19	1,7	0,47	3,34	0,61
60	0,74	0,24	1,77	0,19	3,36	0,85
80	0,72	0,15	1,71	0,25	3,52	0,79
100	0,54	0,12	1,68	0,34	3,01	0,79
140	0,36	0,08	1,47	0,55	2,46	0,77

Quadro E.03- Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes e descendentes

Descarga de fundo 03 as 14:20

pH trat: 6,79

10/05/2001	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,6	0,31	0,82	0,22	3,5	0,49
1			0,42		3,31	
2	0,25				2,81	
3	0,32		0,47			
5	0,11	0,15	0,44	0,14	2,41	0,29
10	0,1	0,08	0,46	0,18	2,69	0,33
15	0,14	0,14	0,36	0,14	2,44	0,29
20	0,19	0,14	0,35	0,19	2,6	0,24
25	0,16	0,11	0,5	0,1	2,66	0,3
30	0,48	0,37	0,79	0,26	3,17	0,41
40	0,64	0,35	0,92	0,25	3,02	0,45
50	0,62	0,3	0,84	0,16	2,96	0,41
60	0,37	0,24	0,81	0,2	3,1	0,47
75	0,3	0,2	0,78	0,19	3,54	0,6
90	0,3	0,2	0,65	0,27	3,17	0,47
150	0,42	0,34	0,81	0,21	2,8	0,92

Figura E.01 -Variação da turbidez e pH durante a lavagem na unidade I

Figura E.02 -Variação da turbidez e pH durante a lavagem na unidade II

Figura E.03 -Variação da turbidez e pH durante a lavagem na unidade III

Figura E.04 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 1, após 15 horas de funcionamento)

Figura E.05 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 1, após 15 horas de funcionamento)

Figura E.06 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 2, após 25 horas de funcionamento)

Figura E.07 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 2, após 25 horas de funcionamento)

Quadro E.04 - Variação da Turbidez no início da carreira dos filtros ascendentes

Operação: Lavagem dos ascendentes

Data: 20/05/01 Começo da carreira

	FAI	FAII	FAIII	FDI	FDII	FDIII
	Turb	Turb	Turb	turb	turb	Turb
0	0,69	1,2	0,25	0,05	0,08	0,18
5	1,36		0,2	1,39		0,18
10	1,16		0,29	1,34		0,14
15	1,09		0,31	1,18		0,23
20		4,44	0,42		0,12	0,19
25		4,15	0,41		0,18	0,16
30		6,46	0,48		0,14	0,19
35	6,43	3,77		1,01	0,18	
40	4,67	2,87		0,76	0,15	
45	3,45	2,54		0,48	0,17	
50	3,71	1,98	8,9	0,41	0,21	0,4
55	3,11	1,91	6,63	0,48	0,23	0,29
60	2,92	1,95	2,71	0,61	0,19	0,19
70	1,7	2,14	2,95	0,5	0,17	0,18
80	1,8	1,85	4,18	0,48	0,32	0,15
90	1,74	1,99	5,43	0,34	0,15	0,37
105	1,5	1,96	5,41	0,42	0,15	0,72
120	1,39	1,82	6,85	0,26	0,19	1,17
135	1,69	2,09	5,88	0,27	0,15	1,17
150	1,63	1,85	6,66	0,28	0,16	1,16
165	1,53	1,94	7,5	0,22	0,22	1,28
180	1,22	2,08	7,43	0,23	0,3	1,48
210	0,96	2,08	6,35	0,29	0,32	1,43

Quadro E.05 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

ja de fundo 01 as 13:00

pH trat: 6,79

21/05/2001

Turbidez do efluente

Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,26	0,3	1,84	0,27	2,52	1,76
1	0,24		2,54		2,83	
5	0,48	0,1	2,05	0,25	2,43	1,61
10	0,72	0,09	2,14	0,25	2,64	1,38
15	0,52	0,14	2,08	0,24	2,7	1,54
20	0,38	0,19	1,99	0,29	2,93	1,47
25	0,87	0,15	1,97	0,31	3,02	1,47
30	0,52	0,34	3,14	0,33	3,45	1,61
40	0,52	0,19	2,75	0,4	3,65	1,75
50	0,36	0,2	2,77	0,35	3,52	1,77
60	0,7	0,19	2,74	0,35	3,95	1,99
70	0,59	0,19	2,89	0,42	4,1	2,12
80	0,7	0,13	2,82	0,58	3,98	2,21
90	0,59	0,23	2,74	0,47	3,83	2,28
120	0,56	0,1	2,82	0,4	3,8	2,18

Quadro E.06 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 02 as 16:00

pH trat: 6,79

22/05/05/01	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0						
1	2,69		1,69		3,28	
5	2,42	2,32	1,45	0,24	2,66	1,72
10	2,51	2,35	1,24	0,25	2,94	1,83
15	2,57	2,23	1,54	0,29	2,76	1,81
20	2,49	2,33	1,24	0,22	2,81	1,79
25	1,95	2,17	1,43	0,27	3,14	1,8
30	1,87	1,98	1,79	0,34	3,08	2
40	1,4	2,11	1,89	0,45	3,45	2,07
50	1,2	1,66	1,72	0,39	3,63	1,98
60	0,93	1,23	1,56	0,31	3,96	2,1
70	parou	parou	parou	parou	parou	parou

Quadro E.07 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 03 as 12:20

pH trat: 6,35

26/05/2001	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,64	0,97	1	0,26	2,68	2,05
5	0,45	0,68	0,7	0,21	1,61	1,56
10	0,4	0,8	0,6	0,26	1,51	1,5
15	0,74	0,5	0,56	0,17	1,17	1,17
20	1,42	0,47	0,48	0,23	0,98	1,15
25	2,1	0,71	0,49	0,2	1,01	1,14
30	2,79	0,96	0,69	0,15	0,86	0,88
40	2,71	1,95	0,4	0,31	0,8	0,75
50	2,34	2,34	0,44	0,32	1,28	0,72
60	2,48	2,4	0,43	0,33	1,51	0,79
90	2,57	2,26	0,34	0,26	2,61	1,36
120	3,6	2,3	0,3	0,25	2,72	1,5

Quadro E.08 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 04 as 12:10

pH trat: 6,35

26/05/2001	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,89	0,9	0,75	0,56	2,13	1,1
1	1,28		0,66		1,34	
5	1,26	1,01	0,53	0,26	1,17	1,02
10	0,72	1	0,38	0,26	1,15	0,9
15	0,85	0,92	0,36	0,26	1,27	0,86
20	1,06	0,92	0,29	0,3	1,35	0,89
25	1,21	0,98	0,33	0,2	1,47	0,88
30	2,02	1	0,53	0,25	1,77	0,87
40	3,37	1,48	0,49	0,32	1,44	0,99
50	3,88	2,78	0,43	0,23	1,51	1,18
60	4,12	3,36	0,36	0,4	1,77	0,98
70	4,26	3,69	0,64	0,19	1,99	1,15
80	5,55	4,22	0,52	0,34	1,57	1,26
90	4,86	4,76	0,74	0,31	2,36	1,43
100	3,47	2,27	0,86	0,21	2,82	1,48
150	3,64	0,98	0,82	0,59	2,17	1,85

Figura E.08 -Variação da turbidez durante a lavagem na unidade I

Figura E.09 -Variação da turbidez durante a lavagem na unidade II

Figura E.10 -Variação da turbidez durante a lavagem na unidade III

Figura E.11 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 1, após 10 horas de funcionamento)

Figura E.12 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 1, após 10 horas de funcionamento)

Figura E.13 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 2, após 19 horas de funcionamento)

Figura E.14 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 2, após 19 horas de funcionamento)

Figura E.15 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 3, após 23 horas de funcionamento)

Figura E.16 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 3, após 23 horas de funcionamento)

Figura E.17 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 4, após 40 horas de funcionamento)

Figura E.18 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 4, após 40 horas de funcionamento)

Quadro E.09 - Variação da Turbidez no início da carreira dos filtros ascendentes

Operação: Lavagem dos Ascendentes

Data: 27/05/01

Começo da carreira

	FAI	FAII	FAIII	FDI	FDII	FDIII
	Turb	Turb	Turb	turb	turb	Turb
0	4,4	1,05	2,31	3,25	0,18	0,37
5		0,97	2,67		0,29	1,89
10		0,41	3,88		0,25	1,8
15		0,5	2,45		0,33	1,7
20	25,7		2,54	5,16		1,71
25	9,01		2,54	5,1		1,74
30	5,22		2,53	2,29		1,76
35	5,34	21		1,68	0,44	
40	2,86	6,49		1,63	0,39	
45	2,48	3,33		1,43	0,32	
50	1,46	3,94	20	1,34	0,25	
55	1,84	2,28	6,3	1,05	0,26	1,84
60	1,45	2,14	2,67	0,95	0,22	1,72
70	1,7	2,11	1,32	0,76	0,27	0,87
80	2,68	2,84	1,6	0,76	0,26	0,56
90	1,95	3,04	2,12	0,81	0,38	0,45
105	2,71	2,9	4,23	0,85	0,32	0,67
120	3,16	4,49	5,33	0,77	0,3	1,05
180	4,72	4,68	6,9	0,36	0,32	1,67

Quadro E.10 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 01 as 15:15

pH trat: 6,80

28/05/2001	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	4,92	1	1,4	0,3	3,03	1,14
1	5,11		1,04		3,43	
7	4,99	2,15	0,94	0,37	2,94	1,17
10	5,36	2,18	2,5	0,3	3,06	1,3
15	5,98	2,61	2,12	0,23	3,61	1
20	5,69	2,8	1,28	0,29	2,91	1,24
25	4,81	2,9	1,2	0,22	3,16	1,24
30	4,36	3,05	1,32	0,24	3,43	1,26
40	3,85	2,8	1,49	0,26	3,33	1,3

Quadro E.11 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 03 as 14:20

pH trat: 6,79

29/05/2001	Turbidez do efluente					
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	7,32	6,7	0,66	0,51	1,76	1,54
1	7,01		0,22		1,96	
7	7,34	6,54	0,19	0,48	6,58	1,31
10	7,56	6,41	0,32	0,34	2,01	1,09
15	7,57	6,36	0,29	0,31	1,65	1,09
20	7,48	6,33	0,25	0,28	1,73	1,04
25	6,98	6,7	0,24	0,21	2,24	1,06
30	6,44	6,42	0,31	0,27	1,72	1,06
40	6,1	6,22	0,21	0,2	1,77	1,02
50	7,04	6,08	0,14	0,23	1,81	0,95
60	7,4	6,24	0,38	0,37	2,04	0,96
70	7,71	6,7	0,21	0,23	1,96	0,99
80	7,56	6,75	0,22	0,29	1,79	1,03
90	7,68	6,78	0,25	0,28	1,88	0,99

Figura E.19 -Variação da turbidez durante a lavagem na unidade I

Figura E.20 -Variação da turbidez durante a lavagem na unidade II

Figura E.21 -Variação da turbidez durante a lavagem na unidade III

Figura E.22 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 1, após 9 horas de funcionamento)

Figura E.23 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 1, após 9 horas de funcionamento)

Figura E.24 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros ascendentes (descarga 3, após 15 horas de funcionamento)

Figura E.25 - Variação da turbidez durante e após a realização das descargas de fundo nos filtros descendentes (descarga 3, após 15 horas de funcionamento)

Quadro E.12 - Variação da Turbidez no período de lavagem dos filtros descendentes.

Operação: Lavagem dos descendentes

Data: 27/05/01 Começo da carreira

	FAI	FAII	FAIII	FDI	FDII	FDIII
	Turb	Turb	Turb	turb	turb	Turb
0	4,72	7,68	6,9	0,36	0,32	1,67
5	4,38		0,2	1,39		0,18
10	4,82		0,29	1,34		0,14
15			0,31	1,18		0,23
20		4,44	0,42		0,12	0,19
25	10,4	4,15	0,41		0,18	0,16
30	2,47	6,46	0,48		0,14	0,19
35	3,42	3,77		1,01	0,18	
40	4,78	2,87		0,76	0,15	
45	5,47	2,54		0,48	0,17	
50	Parou	Parou	Parou	Parou	Parou	Parou

Quadro E.13 - Variação da Turbidez no período de lavagem dos filtros descendentes.

Operação: Lavagem dos descendentes

Data: 26/06/01 Começo da carreira

	FAI	FAII	FAIII	FDI	FDII	FDIII
	Turb	Turb	Turb	turb	turb	Turb
0	0,88	1,17	1,11	0,41	0,32	0,84
5	0,52		1,33	0,27		0,42
10	0,59		1,51	0,3		0,45
15	0,6	0,54		0,55	0,32	
20	0,82	0,89		0,59	0,3	
25	0,6	1,31		0,49	0,27	
30	0,78	1,2	1,87	0,45	0,42	0,22
35	0,64	0,91	1,74	0,59	0,41	0,23
40	0,43	0,55	1,83	0,49	0,22	0,3
50	0,37	0,75	1,63	0,26	0,32	0,2
60	0,68	1,08	1,51	0,27	0,38	0,26
70	0,66	0,87	1,95	0,26	0,37	0,59
80	0,6	0,86	1,43	0,22	0,43	0,28
90	0,73	0,71	0,8	0,21	0,38	0,18
120	0,64	0,78	0,88	0,4	0,48	0,28

Figura E.26 -Variação da turbidez durante a lavagem dos filtros descendentes na unidade I

Figura E.27 -Variação da turbidez durante a lavagem dos filtros descendentes na unidade II

Figura E.28 -Variação da turbidez durante a lavagem dos filtros descendentes na unidade III

Figura E.29 -Variação da turbidez durante a lavagem dos filtros descendentes na unidade I

Figura E.30 -Variação da turbidez durante a lavagem dos filtros descendentes na unidade II

Figura E.31 -Variação da turbidez durante a lavagem dos filtros descendentes na unidade III

Anexo F

- **Quadros e figuras referentes a influência do começo de funcionamento da ETA2 na qualidade da água produzida.**

Quadro F.01 - Influência do começo de funcionamento da ETA na qualidade da água.

começo de funcionamento

Tempo	Turbidez do efluente					
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
5	0,68	0,08	1,01	0,08	1,82	0,08
10	0,37	0,25	0,86	0,12	1,14	0,11
20	0,7	0,34	1,07	0,35	1,21	0,14
30	0,63	0,08	0,68	0,29	1,4	0,12
40	0,34	0,25	0,82	0,24	1,49	0,21
50	0,12	0,08	0,75	0,35	1,8	0,4
70	0,49	0,26	1,65	0,12	2,81	0,73
100	0,66	0,32	1,62	0,35	2,54	0,48

Figura F.01 - Turbidez afluente dos filtros ascendentes no início de funcionamento

Figura F.02 - Turbidez afluente dos filtros descendentes no início de funcionamento

Quadro F.02 - Influência do começo de funcionamento da ETA na qualidade da água.

começo de funcionamento

Tempo	Turbidez do efluente					
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,76	0,41	1,14	1,38	2,82	1,22
5	0,4	0,22	0,85	0,29	2,41	0,43
10	0,23	0,18	0,72	0,444	2,19	0,82
15	0,17	0,21	0,59	0,27	1,75	1,07
20	0,22	0,12	0,6	0,18	1,68	1,06
25	0,25	0,14	0,44	0,17	1,76	0,91
30	0,44	0,16	0,52	0,2	1,95	0,89
40	0,43	0,19	0,75	0,32	2,09	0,98
50	0,45	0,23	0,69	0,3	2,33	1,13
60	0,4	0,24	0,6	0,3	2,3	1,11
90	0,5	0,34	1	0,46	2,67	1,51
120	1,21	0,57	1,25	0,32	2,72	1,68

Figura F.03 - Turbidez afluente dos filtros ascendentes no início de funcionamento

Figura F.04 - Turbidez afluente dos filtros descendentes no início de funcionamento

Quadro F.03 - Influência do começo de funcionamento da ETA na qualidade da água.

começo de funcionamento

Tempo	Turbidez do efluente					
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,64	0,97	1	0,26	2,68	2,05
5	0,45	0,68	0,7	0,21	1,61	1,56
10	0,4	0,8	0,6	0,26	1,51	1,5
15	0,74	0,5	0,56	0,17	1,17	1,17
20	1,42	0,47	0,48	0,23	0,98	1,15
25	2,1	0,71	0,49	0,2	1,01	1,14
30	2,79	0,96	0,69	0,15	0,86	0,88
40	2,71	1,95	0,4	0,31	0,8	0,75
50	2,34	2,34	0,44	0,32	1,28	0,72
60	2,48	2,4	0,43	0,33	1,51	0,79
90	2,57	2,26	0,34	0,26	2,61	1,36
120	3,6	2,3	0,3	0,25	2,72	1,5

Figura F.05 - Turbidez afluentes dos filtros ascendentes no início de funcionamento

Figura F.06 - Turbidez afluentes dos filtros descendentes no início de funcionamento

Quadro F.04 - Influência do começo de funcionamento da ETA na qualidade da água.

começo de funcionamento

Tempo	Turbidez do efluente					
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII
0	0,96	1,28	0,57	0,35	2,21	0,83
5	1,07	1,24	0,7	0,27	2,31	0,53
10	0,72	1,21	0,4	0,25	1,55	0,62
15	0,8	0,8	0,53	0,21	1,42	0,56
20	0,78	0,69	0,44	0,2	1,6	0,54
25	0,73	0,56	0,48	0,23	1,91	0,75
30	1,07	0,63	0,53	0,35	2,4	0,58
40	1,27	0,82	0,58	0,38	2,11	1,11
50	1,73	1,21	0,67	0,39	2,52	1,09
60	1,82	1,05	0,85	0,55	2,88	1,13
90	1,34	0,97	0,95	0,46	3,87	1,26
120	1,48	1,1	0,63	0,1	3,6	1,44

Figura F.07 - Turbidez afluente dos filtros ascendentes no início de funcionamento

Figura F.08 - Turbidez afluente dos filtros descendentes no início de funcionamento

Anexo G

- **Quadros e figuras referente a verificação de caminhos preferenciais e suas variações em relação a turbidez dos efluentes dos filtros ascendentes e descendentes.**

Quadro G.01 - Variação do pH de entrada dos módulos e dosagem de coagulante

01/05/2001	pH entrada			
Hrs Func	FA I	FA II	FA III	Dosagem (mg/L)
1		6,68	6,39	13,03
3		6,68	6,1	13,11
5		6,74	6,21	13,11
7		6,84	6,1	13,03
8		6,73	6,1	14,30
10		6,32	6,76	15,06
12		6,76	6,03	14,81
14		6,35	5,82	14,21
18		6,02	5,8	13,54
20	6,4	6,51	5,77	13,45
26	6,47	5,82	5,44	12,61
31	6,77	5,72	5,59	14,97
33	6,23	5,48	5,15	15,86
34	6,17	5,62	5,08	16,81
36	5,98	5,44	5,09	16,53
39	6	5,28	5,1	11,07
41	6,72	5,37	5,21	11,81
43	6,82	5,75	5,35	11,86

Quadro G.02 - Variação da turbidez no filtros ascendentes e descendentes.

Hrs Func	Turbidez (uT)					
	FDI	FDII	FDIII	FAI	FAII	FAIII
1		0,91	0,49		1,04	2,4
3		3,7	0,22		4,7	3,8
5		2,6	0,82		1,95	5,03
7		2,35	1,55		2,18	5,6
8		4,63	0,45		6,97	0,45
10		0,68	0,63		2,84	0,63
12		0,65	1,9		1,24	1,9
14		0,42	2,1		0,95	2,1
18		0,96	0,71		0,96	4
20	0,77	0,78	0,7	2,41	0,78	3,14
26	0,73	0,64	1,62	0,9	1,23	3,11
31	0,75	0,23	1,74	0,63	0,61	2,52
33	0,72	0,4	1,6	1,6	0,84	2,36
34	1,23	0,71	1,7	0,78	3,8	2,95
36	0,24	1,02	1,78	1,27	2,57	3,28
39	1,07	0,27	0,75	0,78	1,07	1,75
41	1,12	0,29	1,28	0,95	1,12	2,21
43	0,21	0,51	1,68	0,29	2,12	3,01

Figura G.01 - Valores de pH da água afluente as unidades de dupla filtração - Ensaio 1

Figura G.02 - Turbidez dos efluentes dos filtros ascendentes - Ensaio 1

Figura G.03 - Turbidez dos efluentes dos filtros descendentes - Ensaio 1

Quadro G.03 - Variação do pH de entrada dos módulos e dosagem de coagulante

07/05/01	pH entrada			
Hrs Func	FA I	FA II	FA III	Dosagem (mg/L)
4	6,32	6,31	5,36	8,54
5	6,12	6,8	6,56	13,49
7	6,58	6,14	6,27	12,91
9	6,44	6,32	6,07	11,97
11	6,32	5,97	6,05	14,89
13	6,24	6,11	6,31	12,26
15	6,15	6	6,05	12,26
17	6,2	5,89	5,59	11,96
19	6,4	6,29	6,1	8,55
21	6,79	6,52	5,96	10,19
23	6,43	6,32	6	12,26
25	6,65	6,46	5,86	10,01
31	6,21	6,26	5,5	14,37
33	6,19	6,02	5,81	14,10
35	6,2	6,08	5,76	13,73

Quadro G.04 - Variação da turbidez no filtros ascendentes e descendentes.

Hrs Func	Turbidez (uT)					
	FDI	FDII	FDIII	FAI	FAII	FAIII
4	0,21	0,18	2,28	0,71	0,49	5,2
5	0,7	0,8	1,9	0,27	0,1	0,25
7	0,05	0,16	0,89	0,52	2,2	3,96
9	0,23	0,07	1,14	1,07	2,79	3,61
11	0,25	0,24	0,21	0,34	0,82	1,49
13	0,31	0,48	0,62	0,6	1,4	3,21
15	0,15	0,25	0,79	0,72	1,71	3,52
17	0,05	0,05	0,08	0,44	0,32	0,43
19	0,25	0,12	0,5	0,36	0,17	1,42
21	0,05	0,51	0,29	0,72	1,8	0,7
23	0,31	0,22	0,49	0,6	0,82	2,5
25	0,2	0,27	0,47	0,3	0,65	3,17
31	0,7	0,53	0,71	0,74	0,51	2,83
33	1,07	0,25	4,39	1,19	0,39	3,2
35	0,74	0,28	0,99	0,86	0,37	2,7

Figura G.04 - Valores de pH da água afluyente as unidades de dupla filtração - Ensaio 2

Figura G.05 - Turbidez dos efluentes dos filtros ascendentes - Ensaio 2

Figura G.06 - Turbidez dos efluentes dos filtros descendentes - Ensaio 2

Quadro G.05 - Variação do pH de entrada dos módulos e dosagem de coagulante

Hrs Func	pH entrada			
	FA I	FA II	FA III	Dosagem (mg/L)
2	6,03	5,89	5,08	11,41
5	5,69	5,51	5,11	12,63
9	5,79	5,65	5,5	13,67
11	5,51	5,46	5,14	16,59
13	5,96	5,47	5,2	11,11
16	6,03	5,84	5,05	10,59
18	6,13	6,03	5,33	14,37
20	6,63	5,96	5,26	11,96
22	6,34	5,95	5,5	9,98
24	6,26	5,97	5,58	7,97
26	6,56	5,53	5,4	11,96
28	6,39	6,02	5,37	11,68
29	6,36	6,1	5,97	11,68
31	6,22	5,98	4,83	12,22
33	6,14	5,96	5,01	11,68
36	6,49	5,15	4,92	14,67
38	6,32	5,46	5,07	13,35
40	6,16	5,34	5,1	13,76
42	6,62	5,95	5,08	11,15
44	6,8	6,6	6,4	7,17
46	6,3	5,28	5,16	12,74
48	6,22	5,25	4,96	12,74
49	6,48	6,48	6,28	11,11
51	6,53	6,5	6,05	10,01

Quadro G.06 - Variação da turbidez no filtros ascendentes e descendentes.

Hrs Func	Turbidez (uT)					
	FDI	FDII	FDIII	FAI	FAII	FAIII
2	0,19	0,56	0,94	0,92	1,63	3,45
5	0,29	0,32	1,43	0,96	2,08	6,35
9	0,46	0,55	1,96	0,79	1,31	3,52
11	0,3	0,27	1,76	0,26	1,84	2,52
13	0,42	2,32	3,87	0,1	0,62	2,18
16	0,4	0,42	1,2	0,46	0,8	1,73
18	0,17	0,16	1	0,84	0,75	1,72
20	0,98	0,14	0,96	1,87	1,46	2,6
22	0,73	0,43	1,61	0,67	0,54	1,67
24	2,3	0,3	1,5	3,6	2,3	2,72
26	2,3	0,22	0,87	3	2,45	1,84
28	1,83	0,12	0,71	2,91	1,83	1,94
29	2,56	0,6	1,01	2,42	0,58	1,73
31	0,69	0,17	2,6	0,32	1,3	3,5
33	0,92	0,32	1,5	0,87	0,93	2
36	0,21	0,37	0,15	0,47	0,45	0,47
38	0,78	0,89	0,87	0,66	1,43	1,86
40	0,41	0,61	1,26	0,5	1,57	1,88
42	1	0,39	1,21	0,74	0,72	1,2
44	0,9	0,56	1,1	0,89	0,75	2,13
46	1,27	0,86	1,48	2,47	0,21	2,82
48	1,42	0,43	1,8	2,3	0,56	1,9
49	1,56	0,29	0,9	0,74	0,41	1,25
51	3,25	0,18	0,37	4,4	1,05	2,31

Figura G.07 - Valores de pH da água afluyente as unidades de dupla filtração - Ensaio 3

Figura G.08 - Turbidez dos efluentes dos filtros ascendentes - Ensaio 3

Figura G.09 - Turbidez dos efluentes dos filtros descendentes - Ensaio 3

Quadro G.07 - Variação do pH de entrada dos módulos e dosagem de coagulante

27/05/2001	pH entrada			
Hrs Func	FA I	FA II	FA III	Dosagem (mg/L)
3	6,14	5,86	5,68	11,96
5	6,26	6,07	6,17	11,98
7	6,36	6,34	6,34	8,08
9	6,57	6,05	5,29	11,11
11	6,05	6,06	5,48	11,67
13	6,61	6,23	5,87	10,85
15	6,63	5,84	5,22	11,68
16	6,6	6,37	6,16	14,01
18	6,65	6,06	5,27	14,37
20	6,65	5,69	5,3	14,37
21	6,42	5,84	5,27	14,37
24	6,66	6,57	6,24	12,18
26	6,67	6,3	6,34	9,72
28	6,64	6,28	6,52	13,64
29	6,22	6,45	6,32	11,96
31	6,74	0,6	6,3	13,11
33		6,62	6,14	12,03
35	5,27	5,15	5,05	11,40
37	6,84	6,52	5,95	11,15
39		6,62	6,3	14,89
40	6,83	6,57	6,41	11,89
42	6,75	6,5	5,37	13,76
44		6,69	5,56	13,34
46		6,76	5,44	15,38

Quadro G.08 - Variação da turbidez no filtros ascendentes e descendentes.

Hrs Func	Turbidez (uT)					
	FDI	FDII	FDIII	FAI	FAII	FAIII
3	2,2	0,12	0,11	2,3	1,45	2,81
5	0,97	0,18	0,12	4,26	3,92	2,22
7	0,47	0,17	0,84	1,5	1,95	3,2
9	1,12	0,3	1,12	3,68	1,32	3,03
11	0,71	0,16	0,33	0,82	0,76	1,74
13	1,1	0,19	1,83	2,54	0,47	3,22
15	1,85	0,18	1,97	1,22	0,5	3,3
16	0,83	0,18	0,49	1,72	0,53	1,58
18	0,63	0,1	2,03	0,74	0,6	3,96
20	2,2	0,27	2,17	2,59	0,6	3,35
21	1,42	0,19	0,6	1,92	0,94	0,94
24	3,34	0,3	1,25	6,46	0,46	2,56
26	6,7	0,51	1,54	7,32	0,66	1,76
28	5,98	0,24	0,81	7,54	0,94	1,78
29	1,27	0,17	0,28	4,85	1,57	1,01
31	6,36	0,95	0,7	8,14	0,28	0,63
33		0,05	0,33		0,08	0,9
35	3,2	0,65	0,42	1,98	4,9	0,54
37	3,13	0,25	0,48	4,08	1,7	1,58
39		0,25	0,38		1,12	1,67
40	2,2	0,1	0,22	5,1	2,5	0,31
42	4,44	0,15	0,18	5,13	0,49	0,36
44		0,16	0,2		0,36	1,1
46		0,48	1,25		0,48	7,76

Figura G.10 - Valores de pH da água afluente as unidades de dupla filtração - Ensaio 4

Figura G.11 - Turbidez dos efluentes dos filtros ascendentes - Ensaio 4

Figura G.12 - Turbidez dos efluentes dos filtros descendentes - Ensaio 4

Anexo H

- Quadros e figuras referente aos resultados da comparação da ETA2 com uma Instalação Piloto com características semelhantes.

Quadro H.01 - Comparação do começo de carreira da ETA2 e inst piloto na qualidade da água.

começo de funcionamento

04/09/2001

Tempo	Turbidez do efluente						FAP	FDP
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII		
0	1,36	0,69	1,14	0,43	1,61	0,2	1,47	0,13
5	1,44	0,61	9,25	0,82	6,87	0,17	0,71	0,11
10	2,87	0,47	7,36	0,67	8,09	0,15	0,88	0,15
15	4,47	0,41	6,44	0,97	8,87	0,14	1,11	0,14
20	2,28	0,3	2,85	0,59	4,45	0,12	1,44	0,11
25	1,97	0,33	3,5	0,35	3,57	0,17	1,63	0,25
30	1,76	0,37	2,52	0,25	3,51	0,16	1,67	0,17
40	1,42	0,37	1,52	0,17	2,36	0,16	2,03	0,21
50	1	0,3	1,39	0,26	2,11	0,14	2,09	0,16
60	0,78	0,3	1,12	0,19	2,79	0,19	2,25	0,28

Figura H.01 - Começo da carreira (simulação).

Figura H.02 - Começo da carreira (simulação).

Quadro H.02 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 01

pH trat: 6,79

Tempo	Turbidez do efluente							
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII	FAP	FDP
0	0,23		3,51		2,12		6,15	
5	2,12	0,26	4,93	0,14	2,67	0,15	1,39	0,1
10	3,74	0,18	2,71	0,12	3,42	0,13	0,71	0,24
15	2,87	0,53	0,86	0,16	1,99	0,14	0,44	0,1
20	3,59	1,04	1,18	0,11	1,55	0,16	0,43	0,12
25	4,86	1,54	0,45	0,12	0,56	0,12	0,32	0,09
30	6,11	2,35	0,41	0,14	0,78	0,13	0,58	0,13
40	6,58	3,83	0,32	0,12	1,16	0,13	1,11	0,1
50	6,05	5,03	0,26	0,15	0,65	0,15	1,27	0,1
60	4,44	5,26	0,28	0,11	0,98	0,15	1,42	0,09
90	1,88	2,88	0,73	0,14	1,1	0,13	1,65	0,14
120	0,6	1,04	0,24	0,1	0,9	0,18	1,75	0,11

Quadro H.03 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 02

pH trat: 6,69

Tempo	Turbidez do efluente							
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII	FAP	FDP
0	2,29	1,6	0,24	0,19	0,59	0,15	4,43	0,11
5	1,94	1,67	0,25	0,15	0,57	0,16	2,28	0,13
10	1,78	2,03	0,22	0,12	0,51	0,11	1,36	0,17
15	2,21	1,82	0,21	0,1	0,51	0,13	0,56	0,09
20	2,93	1,8	0,32	0,11	0,45	0,13	0,64	0,17
25	3,89	2	0,18	0,1	0,52	0,11	0,91	0,12
30	4,09	2,45	0,21	0,11	0,6	0,12	1,04	0,11
40	4,34	3,37	0,15	0,19	0,63	0,15	1,36	0,21
50	4,2	3,88	0,24	0,15	0,64	0,14	1,53	0,11
60	4,18	3,86	0,23	0,13	0,58	0,14	1,66	0,11
90	2,2	2,59	0,22	0,13	0,5	0,13	1,86	0,13

Quadro H.04 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 03

pH trat: 6,40

Tempo	Turbidez do efluente							
	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII	FAP	FDP
0	6,79	5,98	4,24	1,65	1,74	1,01	3,99	
5	6,6	5,99	2,61	1,17	2,04	0,36	2,04	0,29
10	6,57	6,55	2,65	1,68	1,87	0,18	0,97	0,29
15	6,48	6,22	2,56	1,83	1,51	0,18	0,81	0,31
20	6,68	6,16	2,6	1,97	1,27	0,26	0,77	0,46
25	6,81	6,17	3,33	1,92	1,42	0,22	0,81	0,21
30	6,89	6,33	3,9	2,1	1,42	0,26	1,04	0,19
40	6,9	6,8	2,94	3,92	1,57	0,2	1,25	0,2
50	6,98	6,79	4,35	4,23	1,29	0,26	1,45	0,14
60	7,06	6,8	4,54	3,66	1,46	0,3	1,54	0,16
90	6,8	6,74	3,5	2,8	1,35	0,28	1,62	0,15
120	5,25	6,53	1,05	2,22	1,01	0,23	1,86	0,17

Quadro H.05 - Variação da turbidez durante a descarga de fundo nos filtros ascendentes

Descarga de fundo 04

pH trat: 6,48

07/09/2001	Turbidez do efluente							
Tempo	FAI	FDI	FAII	FDII	FAIII	FDIII	FAP	FDP
0	3,54	3,15	0,59	2,78	1,29	0,21	7,56	1,01
5	3,38	2,96	1,47	1,88	1,04	0,13	2,85	0,85
10	3,17	2,79	1,52	1,3	1,25	0,13	1,26	0,91
15	3,45	2,88	0,5	1,01	0,73	0,24	0,8	0,54
20	3,66	2,86	0,82	0,66	1,15	0,2	0,66	0,21
25	3,99	3,18	1,03	0,77	0,42	0,18	0,83	0,17
30	4,13	3,37	0,75	0,22	0,6	0,25	1,13	0,16
40	4,13	3,87	0,49	0,21	0,98	0,21	1,42	0,22
50	4,69	4,33	0,43	0,16	0,59	0,3	1,61	0,22
60	4,92	4,7	0,35	0,12	0,57	0,17	1,7	0,19
90	5,53	5,01	0,29	0,11	0,48	0,15	1,82	0,24

Quadro H.06 - Variação da Turbidez durante a lavagem dos filtros ascendentes

Operação: Lavagem dos ascendentes

Data: 08/09/01 Começo da carreira

	FAI	FAII	FAIII	FDI	FDII	FDIII	FAP	FDP
	Turb	Turb	Turb	turb	turb	Turb	Turb	Turb
0	4,78	0,45	0,35	2,83	0,26	0,42		
5	5,21		0,24	4,52		0,2		
10	5,15		0,19	4,68		0,18		
15		24,1	0,27		0,51	0,17	0,95	
20		13,8	0,24		0,48	0,17	7,76	0,11
25		9,47	0,24		0,95	0,27	2,01	0,12
30	37,2	7,36		4,83	1,01		1,82	0,14
35	12,7	3,38		4,63	0,86		1,22	0,1
40	9,03	3,43		2,9	0,77		1,17	0,17
45	6,79	3,59	16,4	2,39	0,62	0,65	0,92	0,09
50	4,71	2,28	5,95	2,38	0,45	0,2	1,09	0,14
55	5,28	2,89	3,7	2,41	0,49	0,34	1,21	0,19
60	5,79	2,51	3,29	2,55	0,37	0,26	1,5	0,24
65	6,68	2,31	2,44	2,8	0,28	0,25		
70	7,67	2,01	2,17	3,41	0,27	0,36	1,76	0,1
80	9,87	2	1,76	4,4	0,25	0,29	2,16	0,13
90	12,3	2,63	2,23	5,29	0,3	0,27	2,36	0,07
105	8,24	1,47	3,68	6,12	0,32	0,21	2,51	0,11
120	6,79	1,19	4,96	4,86	0,29	0,2	2,93	0,24
150	4,65	0,97	4,46	2,85	0,24	0,22	3,41	0,24
165	3,64	1,05	4,67	1,89	0,3	0,25	3,45	0,21
180	2,93	1,13	5,54	1,15	0,23	0,28	3,91	0,18

Quadro H.07 - Diferenças de potencial seta na entrada dos filtros e suas influências na qualidade dos efluentes.

Potencial Zeta (mv)				Turbidez			Turbidez			Turbidez			Turbidez	
tempo de func.(h)	Bruta	Turbidez	móduloI	FA	FD	móduloII	FA	FD	móduloIII	FA	FD	Piloto	FA	FD
1	-15,9	13,31	-6,3	1,36	0,69	-1,8	1,14	0,43	-13,3	1,61	0,2	2,5	1,47	0,13
8	-22,2	11,61	-5,2	0,2	0,16	-11,2	0,86	0,23	6,4	1,69	0,2	2,8	2,11	0,14
11	-19,1	13,16	-16,9	0,6	1,04	-1,9	0,22	0,13	12,2	0,5	0,13	3,9	1,15	0,04
15	-18,3	12,91	-14,7	4,18	3,86	-2	0,22	0,13	9,6	0,5	0,13	2,9	2,28	0,13
21	-11,5	12,92	-16,5	7,06	6,8	9,2	4,54	3,66	2,9	1,46	0,3	1,5	2,04	0,29
28	-18,1	12,52	-1,6	5,79	2,55	-0,2	2,51	0,37	6,8	3,29	0,26	12,3	1,76	0,1
40	-20,8	11,71	5,4	1,33	0,83	11,2	0,77	0,29	14,9	3,16	0,43	14,3	4,45	1,14

Figura H.03- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura G.04- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.05- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.06- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.07- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.08- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.09- Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.10 - Gráfico da variação da turbidez durante as descargas nos filtros ascendentes.

Figura H.11 - Gráfico da variação da turbidez no início da carreira dos filtros ascendentes.

Figura H.12 - Gráfico da variação da turbidez no início da carreira dos filtros ascendentes.

Figura H.13 - Gráfico da variação da turbidez no início da carreira dos filtros ascendentes.

Gráfico H.14 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro ascendente I

Gráfico H.15 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro ascendente II

Gráfico H.16 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro ascendente III

Gráfico H.17 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro ascendente piloto.

Gráfico H.18 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro descendente I

Gráfico H.19 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro descendente II

Gráfico H.20 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro descendente III

Gráfico H.21 - comportamento da perda de carga e turbidez no filtro descendente piloto.

Gráfico H.22 - diferença de potencial zeta na entrada dos módulos.

Gráfico H.23 - influência do potencial zeta na qualidade do efluente dos filtros.

Gráfico H.24 - influência do potencial zeta na qualidade do efluente dos filtros.

Anexo I

- Tabelas que apresentam o resumo geral dos principais dados obtidos na pesquisa..

Tabela I.01 – Resumo dos dados do Filtro ascendente I

Módulo I										
				Turbidez						
Filtro Ascendente I				Filtro		água bruta		Dosagem		
Carreira	período	nº	Duração nº D	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	
	13/02-17/02	1	47	5	2,51	0,1	29	21	33,8	20,7
	17/02-20/02	2	22	4	6,42	0,15	24,6	21	24,9	21,6
	20/02-24/02	3	44	3	5,25	0,15	23,9	22	28,2	18,8
	24/02-01/03	4	48	3	3,64	0,1	28	19	25,4	350,0
	01/03-05/03	5	45	2	4,12	0,16	24	18	25,9	15,3
	05/03-09/03	6	37	2	3,3	0,1	29	21	23,4	13,8
	09/03-13/03	7	36	3	0,91	0,05	29,6	20	22,2	13,3
	13/03-19/03	8	43	5	5,1	0,11	21	18	18,4	11,1
	19/03-28/03	9	68	6	7,2	0,17	28	17,5	19,3	8,8
	28/03-29/03	10	19	2	11	0,91	21	17	18,4	9,9
	29/03-31/03	11	18	3	23,5	0,32	106	19	60,2	9,9
	31/03-04/04	12	27	4	17,6	0,15	62	18	35,4	11,1
	04/03-07/04	13	64	3	11,08	0,13	25	17,5	33,6	10,0
	07/04-09/04	14	27	4	8,22	0,21	21	18,6	23,9	6,1
	09/04-16/04	15	54	4	3,65	0,05	21	16,8	23,6	7,6
	16/04-19/04	16	19	4	7,28	0,17	19,1	17,2	17,5	8,3
	19/04-23/04	17	4	0	7,08	0,15	20	14,4	14,3	5,8
	03/05-06/05	18	27	4	7	0,29	16,7	12,3	16,8	9,2
	06/05-11/05	19	36	2	4,06	0,3	17,3	12	14,4	8,5
	11/05-20/05	20	43	3	6,25	0,15	27	12,8	24,2	11,2
	20/05-27/05	21	48	4	4,4	0,16	17,3	11,8	16,6	7,2
	27/05-03/06	22	35	4	8,14	0,74	18,7	12,9	14,9	8,1
	04/06-10/06	23	38	4	3,06	0,22	17,4	12,6	15,4	8,5
	10/03-15/06	24	33	4	3,8	0,14	18,1	11,8	15,4	9,0
	15/06-25/06	25	46	5	3,1	0,17	16,1	11,2	13,3	9,0
	25/06-04/07	26	46	4	2,63	0,18	16,1	9,76	12,7	7,5
	05/07-11/07	27	36	4	3,51	0,2	12,8	11	11,7	9,9
	11/07-24/07	28	77	6	2	0,3	15,9	10,6	14,2	9,1
	24/07-31/07	29	43	3	2,4	0,18	15	10,5	12,2	9,6

Duração = horas

Turbidez= uT

Dosagem = mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{H}_2\text{O} / \text{L}$

Tabela I.02 – Resumos dos dados do Filtro Ascendente I

Módulo I							
Filtro Ascendente I					Taxa		
Carreira período	Prod. Total	Descargas	Lavagem	Prod efet.	Máx	média	Mín
01/03-05/03	708480	2400	57600	648480	92	75	67
05/03-09/03	919080	2400	57600	859080	114	84	67
09/03-13/03	789120	3600	57600	727920	92	74	57
13/03-19/03	1148760	6000	57600	1085160	150	91	33
19/03-28/03	1891440	7200	57600	1826640	150	94	53
28/03-29/03	429480	2400	57600	369480	132	77	40
29/03-31/03	515520	3600	57600	454320	138	120	67
31/03-04/04	785520	4200	54000	727320	138	99	67
04/03-07/04	977040	3150	54000	919890	120	90	53
07/04-09/04	883080	4200	54000	824880	120	111	72
09/04-16/04	1453320	4200	54000	1395120	120	91	26
16/04-19/04	616680	4200	54000	558480	156	110	57
19/04-23/04	672480	0	54000	618480	150	109	26
03/05-06/05	816480	4200	54000	758280	120	103	92
06/05-11/05	10625760	2100	54000	10569660	132	69	53
11/05-20/05	915840	3150	54000	858690	98	72	57
20/05-27/05	1019520	4200	54000	961320	87	72	57
27/05-03/06	810720	4200	54000	752520	120	79	62
04/06-10/06	826200	4200	54000	768000	98	74	67
10/03-15/06	696600	4200	54000	638400	92	72	62
15/06-25/06	965880	5250	54000	906630	98	71	62
25/06-04/07	1112400	4200	54000	1054200	92	82	67
05/07-11/07	775080	4200	54000	716880	98	73	57
11/07-24/07	776520	6300	54000	716220	92	76	53
24/07-31/07	779400	3150	54000	722250	114	84	67

Produção Efetiva (Prod Efet), Produção Total (Prod. Total), Lavagens = m³ / carreira

Taxa de filtração = m³/m² . dia

Tabela I.03 – Resumo dos dados do Filtro Descendente I

Módulo I						
			Turbidez			
Carreira período	nº	Duração	Filtro		água bruta	
			Máx	Mín	Máx	Mín
13/02-20/02	1	74	0,91	0,05	29	21
20/02-21/02	2	2	0,43	0,21	22	22
21/02-24/02	3	38	0,51	0,08	23,9	22
24/02-28/03	4	40	3,1	0,1	28	19
28/03-05/03	5	53	1,38	0,08	24	18
05/03-09/03	6	39	0,91	0,1	29	21
09/03-15/03	7	47	0,13	0,1	29,6	18,5
15/03-17/03	8	18	0,65	0,1	21	18,7
17/03-19/03	9	10	2	0,11	20	18
19/03-25/03	10	45	3,1	0,1	28	18
25/03-26/03	11	10	0,26	0,1	20	18,5
26/03-27/03	12	6	1,6	0,1	19	17,5
27/03-28/03	13	8	1,8	0,04	21	18
28/03-08/04	14	103	19	0,05	106	17
08/04-23/04	15	117	6,78	0,05	21	16
03/05-18/05	16	93	39	0,05	27	12
18/05-27/05-	17	64	6,22	0,05	18,7	11,8
27/05-26/06	18	153	6,7	0,05	18,1	11,2
26/06-05/07	19	45	1,6	0,1	16,1	9,76
05/07-24/07	20	111	2,3	0,1	15,9	10,6

Duração = horas

Turbidez = uT

Tabela I.04 – Resumo dos dados do Filtro Descendente I

Módulo I	Filtro Descendente I				
	Dosagem		Taxa		
Carreira período	Máx	Mín	Máx	média	Mín
13/02-20/02	33,8	20,7			
20/02-21/02	28,2	18,8			
21/02-24/02	23,5	18,8			
24/02-28/03	25,4	16,5			
28/03-05/03	25,9	15,3	132	109	97
05/03-09/03	23,4	13,8	164	120	97
09/03-15/03	22,2	11,1	172	109	83
15/03-17/03	15,7	13,6	216	145	48
17/03-19/03	17,4	13,4	172	135	104
19/03-25/03	19,3	12,1	148	123	97
25/03-26/03	14,8	13,2	216	162	132
26/03-27/03	17,5	14,9	181	154	76
27/03-28/03	15,1	8,8	208	161	104
28/03-08/04	60,2	9,9	199	131	58
08/04-23/04	23,9	6,1	225	147	37
03/05-18/05	24,2	8,5	190	113	76
18/05-27/05-	16,6	7,2	141	107	83
27/05-26/06	15,4	8,0	172	106	90
26/06-05/07	12,7	7,5	132	119	97
05/07-24/07	14,2	9,1	141	108	76

Dosagem = g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{ H}_2\text{O} / \text{L}$

Taxa = $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Tabela I.05 – Resumo dos dados do Filtro Ascendente II

Módulo II									
Filtro Ascendente II				Turbidez					
Carreira período	nº	Duração	nº D	Filtro turbidez		água bruta		Dosagem	
				Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min
13/02-17/02	1	47	5	4,34	0,01	29	21	33,8	20,7
17/02-20/02	2	22	4	6,92	0,13	24,6	21	24,9	21,6
20/02-24/02	3	45	3	4,2	0,12	23,9	22	28,2	18,8
24/02-01/03	4	48	3	4,14	0,14	28	19	25,9	16,5
01/03-05/03	5	44	2	3,01	0,1	24	18	25,9	15,3
05/03-09/03	6	37	2	5,66	0,12	29	21	23,4	13,8
09/03-13/03	7	37	3	4,5	0,07	29,6	20	22,2	13,3
13/03-19/03	8	46	5	3,2	0,1	21	18	18,4	11,1
28/03-29/03	9	19	3	2,21	0,27	21	17	18,4	8,8
29/03-31/03	10	19	3	1,8	0,19	106	19	60,2	9,9
31/03-04/04	11	27	4	2,77	0,15	62	18	35,4	11,1
04/04-07/04	12	63	3	7,42	0,16	25	17,5	33,6	10,0
07/04-10/04	13	28	4	7,14	0,15	21	18,6	23,9	6,1
10/04-16/04	14	54	4	6,42	0,15	21	16,8	23,6	7,6
16/04-19/04	15	20	3	3,2	0,1	19,1	17,2	17,5	8,3
19/04-24/04	16	37	5	6,45	0,16	20	17,5	14,3	6,1
24/04-27/04	17	24	3	4,8	0,26	18,2	14,7	13,3	6,6
27/04-29/04	18	23	1	4,1	0,1	18,6	14,4	11,8	5,8
01/05-07/05	19	44	5	6,97	0,24	17,8	12,3	16,8	6,0
07/05-11/05	20	35	2	4,6	0,17	17,3	12	14,4	8,5
12/05-27/05	21	48	4	3,05	0,21	17,3	11,8	16,6	7,2
27/05-03/06	22	46	4	6,58	0,08	18,7	12,9	14,9	8,1
03/06-10/06	23	38	4	4,35	0,09	17,4	12,6	15,4	8,5
11/06-15/06	24	33	4	3,68	0,15	18,1	11,8	15,4	9,0
16/06-25/06	25	46	5	2,18	0,1	16,1	11,2	13,3	9,0
25/06-04/07	26	46	4	8,21	0,18	16,1	9,76	12,7	7,5
05/07-11/07	27	36	4	2,1	0,18	12,8	11	11,7	9,9
11/07-24/07	28	77	6	1,82	0,35	15,9	10,6	14,2	9,1
24/07-31/07	29	43	3	1,28	0,28	15	10,5	12,2	9,6

Duração = horas

Turbidez= uT

Dosagem = mg de $Al_2(SO_4)_3 \cdot X14 H_2O/L$

Tabela I.06 – Resumo dos dados do Filtro Ascendente II

Módulo II							
Filtro Ascendente II					Taxa		
Carreira período	Prod. Total	Descargas	Lavagem	Prod efet.	Máx	média	Mín
01/03-05/03	645120	2400	57600	585120	92	68	83
05/03-09/03	870120	2400	57600	810120	109	80	90
09/03-13/03	859320	3600	57600	798120	114	79	90
13/03-19/03	906480	6000	57600	842880	114	67	37
28/03-29/03	440640	3600	57600	379440	182	18	70
29/03-31/03	468000	3600	57600	406800	120	84	97
31/03-04/04	721080	4800	57600	658680	225	91	97
04/04-07/04	856440	3150	54000	799290	144	83	44
07/04-10/04	718920	4200	54000	660720	150	87	67
10/04-16/04	1290240	4200	54000	1232040	120	81	53
16/04-19/04	422640	3150	54000	1233090	114	72	44
19/04-24/04	1020240	5250	54000	363390	150	94	49
24/04-27/04	919080	3150	54000	963090	169	130	109
27/04-29/04	916560	1050	54000	864030	150	135	138
01/05-07/05	1030680	5250	54000	857310	132	64	44
07/05-11/05	648720	2100	54000	974580	82	63	26
12/05-27/05	931680	4200	54000	590520	72	66	53
27/05-03/06	964440	4200	54000	873480	114	71	44
03/06-10/06	729720	4200	54000	906240	72	65	49
11/06-15/06	637560	4200	54000	671520	72	66	57
16/06-25/06	891000	5250	54000	578310	77	66	49
25/06-04/07	865800	4200	54000	832800	92	64	49
05/07-11/07	864360	4200	54000	807600	92	69	62
11/07-24/07	865800	6300	54000	804060	92	67	53
24/07-31/07	870120	3150	54000	808650	77	64	40

Produção Efetiva (Prod Efet), Produção Total (Prod. Total), Lavagens = m³ / carreira

Taxa = m³/m² . dia

Tabela 1.07 – Resumo dos dados do Filtro Descendente II

Módulo II						
Filtro Descendente II			Turbidez			
Carreira período	nº	Duração	Filtro		água bruta	
			Máx	Min	Máx	Min
13/02-20/02	1	74	0,7	0,03	29	21
20/02-21/02	2	2	0,9	0,16	22	22
21/02-24/02	3	38	0,79	0,1	23,9	22
24/02-28/03	4	40	4,1	0,1	28	19
28/02-05/03	5	53	1,5	0,05	24	18
05/03-09/03	6	39	2,62	0,1	29	21
09/03-14/03	7	42	0,3	0,1	29,6	18,5
14/03-19/03	8	37	1,6	0,1	21	18
28/03-04/03	9	64	0,77	0,04	106	17
04/03-06/04	10	22	0,57	0,08	25	17,5
06/04-09/04	11	32	1,74	0,05	22,3	19
09/04-20/04	12	93	3,71	0,04	21	16,8
20/04-01/05	13	84	3,9	0,05	20	14,4
01/05-18/05	14	102	4,63	0,05	27	12
18/05-27/05	15	65	1,5	0,04	18,7	11,8
27/05-05/06	16	50	0,95	0,05	18,1	12,9
05/06-26/06	17	113	0,87	0,04	18,1	11,2
26/06-05/07	18	42	0,87	0,08	16,1	9,76
05/07-24/07	19	111	1,36	0,15	15,9	10,6

Duração = horas

Turbidez = uT

Tabela I.08 – Resumo dos dados do Filtro Descendente II

Módulo II	Filtro Descendente II				
	Dosagem		Taxa		
Carreira período	Máx	Mín	Máx	média	Mín
13/02-20/02	33,8	20,7			
20/02-21/02	28,2	18,8			
21/02-24/02	23,5	18,8			
24/02-28/03	25,4	16,5			
28/02-05/03	25,9	15,3	132	98	83
05/03-09/03	23,4	13,8	157	116	97
09/03-14/03	22,2	13,3	164	112	90
14/03-19/03	17,4	11,1	164	93	37
28/03-04/03	60,2	9,9	262	122	70
04/03-06/04	33,6	10,6	208	115	63
06/04-09/04	23,7	10,0	172	128	104
09/04-20/04	23,9	6,1	216	117	63
20/04-01/05	14,3	5,8	243	168	70
01/05-18/05	24,2	6,0	190	97	37
18/05-27/05	16,6	7,2	132	96	76
27/05-05/06	15,4	8,1	164	102	63
05/06-26/06	15,4	8,0	132	95	70
26/06-05/07	12,7	7,5	132	90	70
05/07-24/07	14,2	9,1	132	98	76

Dosagem = g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{H}_2\text{O}$ / L

Taxa = $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$

Quadro I.09 – Resumo dos dados do Filtro Ascendente III

Módulo III									
Filtro Ascendente III				Turbidez					
				Filtro		água bruta		Dosagem	
Carreira período	nº	Duração	nº D	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín
13/02-20/02	1	73	9	4,17	0,1	29	21	33,8	20,7
20/02-24/02	2	41	3	4,38	0,19	23,9	22	28,2	18,8
24/02-01/03	3	48	3	3,81	0,1	28	19	25,4	16,5
01/03-05/03	4	44	2	3,17	0,3	24	18	25,9	15,3
05/03-09/03	5	38	2	5,71	0,07	29	21	23,4	13,8
09/03-13/03	6	37	3	1,62	0,09	29,6	20	22,2	13,3
13/03-19/03	7	42	4	4,2	0,17	21	18	18,4	11,1
19/03-28/03	8	67	7	8,2	0,2	28	17,50	19,3	8,8
28/03-29/03	9	19	3	5,6	0,37	21	17	18,4	9,9
29/03-31/03	10	20	3	3,05	0,12	106	19	60,2	9,9
31/03-04/04	11	27	4	9,7	0,1	62	18	35,4	11,1
04/04-07/04	12	61	3	11,77	0,23	22,3	17,5	33,6	10,0
07/04-10/04	13	28	3	5,78	0,4	21	18,6	23,9	6,1
10/04-16/04	14	54	4	9	0,17	21	16,8	23,6	7,6
16/04-19/04	15	20	3	8,43	0,28	19,1	17,2	17,5	8,3
19/04-24/04	16	37	5	6,3	0,41	20	16	14,3	6,1
24/04-27/04	17	24	3	5,66	0,3	18,2	14,7	13,3	6,6
27/04-30/04	18	23	1	3,94	0,07	18,6	14,4	10,0	5,8
01/05-07/05	19	45	4	5,6	0,52	17,8	12,3	16,8	6,0
07/05-11/05	20	35	2	5,9	0,43	17,3	12	14,4	8,5
12/05-20/05	21	43	3	5,5	0,17	27	12,8	24,2	11,2
20/05-27/05	22	48	4	6,35	0,47	17,3	11,8	16,6	7,2
27/05-03/06	23	46	4	7,76	0,31	18,7	12,9	14,9	8,1
03/06-10/06	24	38	4	11,7	0,76	17,4	12,6	15,4	8,5
11/06-15/06	25	33	4	7	0,76	18,1	11,8	15,4	9,0
15/06-25/06	26	46	4	4,7	0,28	16,1	11,2	13,3	9,0
25/06-04/07	27	46	4	7,76	0,12	16,1	9,76	12,7	7,5
05/07-11/07	28	36	4	21,3	1,07	12,8	11	11,7	9,9
11/07-24/07	29	77	6	3,76	0,63	15,9	10,6	14,2	9,1
24/07-31/07	30	43	3	3,84	0,36	15	10,5	12,2	9,6

Duração = horas

Turbidez= uT

Dosagem = mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{X}14 \text{H}_2\text{O} / \text{L}$

Tabela I.10 – Resumo dos dados do Filtro Ascendente III

Módulo III							
Filtro Ascendente III						Taxa	
Carreira	período	Prod. Total	Descargas	Lavagem	Prod efet.	Máx	Mín
						média	
01/03-05/03		613440	2400	57600	553440	77	53
05/03-09/03		884160	2400	57600	824160	103	67
09/03-13/03		751680	3600	57600	690480	114	44
13/03-19/03		822600	4800	57600	760200	120	44
19/03-28/03		2519640	8400	57600	2453640	156	62
28/03-29/03		531000	3600	57600	469800	182	62
29/03-31/03		583560	3600	57600	522360	132	87
31/03-04/04		841320	4800	57600	778920	144	62
04/04-07/04		849240	3150	54000	792090	126	62
07/04-10/04		710280	3150	54000	653130	150	62
10/04-16/04		1361520	4200	54000	1303320	126	53
16/04-19/04		443880	3150	54000	386730	109	40
19/04-24/04		1059840	5250	54000	1000590	132	44
24/04-27/04		829440	3150	54000	772290	144	92
27/04-30/04		736920	1050	54000	681870	132	98
01/05-07/05		1037520	4200	54000	979320	120	44
07/05-11/05		716400	2100	54000	660300	82	49
12/05-20/05		825480	3150	54000	768330	82	44
20/05-27/05		974880	4200	54000	916680	77	57
27/05-03/06		940320	4200	54000	882120	114	40
03/06-10/06		738360	4200	54000	680160	72	49
11/06-15/06		721080	4200	54000	662880	87	67
15/06-25/06		964440	4200	54000	906240	98	57
25/06-04/07		991800	4200	54000	933600	98	62
05/07-11/07		993240	4200	54000	935040	92	57
11/07-24/07		973440	6300	54000	913140	92	49
24/07-31/07		953640	3150	54000	896490	98	44

Produção Efetiva (Prod Efet), Produção Total (Prod. Total), Lavagens = m³ / carreira

Taxa = m³/m² . dia

Tabela I.11 – Resumo dos dados do Filtro Descendente III

Módulo III						
Filtro Descendente III			Turbidez			
Carreira período	nº	Duração (H)	Filtro turbidez)		água bruta	
			Máx	Mín	Máx	Mín
13/02-20/02	1	74	0,63	0,05	29	24,44
20/02-21/02	2	2	0,47	0,18	22	22
21/02-24/02	3	38	0,8	0,07	23,9	22
24/02-28/03	4	40	0,72	0,08	28	19
28/03-05/03	5	55	3,41	0,1	24	18
05/03-09/03	6	38	3,36	0,1	29	21
09/03-24/03	7	113	0,36	0,1	29,6	18
24/03-27/03	8	19	1,6	0,1	21	17,5
27/03-27/03	9	4	2,47	0,68	19	19
27/03-28/03	10	8	2,96	0,36	21	18
28/03-29/03	11	17	4,2	0,34	19	17
29/03-03/04	12	40	1,27	0,05	106	19
03/04-08/04	13	90	1,28	0,05	25	17,5
08/04/04	14	88	4,37	0,05	21	16,8
19/04-01/05	15	96	2,8	0,05	20	14,4
01/05-18/05	16	102	2,4	0,08	27	12
18/05-27/05	17	65	2,6	0,05	18,7	11,8
28/05-05/06	18	50	2,17	0,12	18,1	12,9
05/06-26/06	19	113	1,14	0,09	18,1	11,2
26/06-05/07	20	42	2	0,05	16,1	9,76
05/07-24/07	21	111	1,465	0,22	15,9	10,6

Duração = horas

Turbidez = uT

Tabela I.12 – Resumo dos dados do Filtro Descendente III

Módulo III	Filtro Descendente III				
	Dosagem		Taxa		
Carreira período	Máx	Mín	Máx	média	Mín
13/02-20/02	40,0	24,4			
20/02-21/02	33,3	22,2			
21/02-24/02	27,8	22,2			
24/02-28/03	30,0	19,4			
28/03-05/03	30,6	16,3	125	96	76
05/03-09/03	27,6	18,3	148	114	97
09/03-24/03	26,3	13,1	225	129	63
24/03-27/03	20,7	15,6	216	177	97
27/03-27/03	20,7	20,7	181	172	164
27/03-28/03	17,8	10,4	181	157	118
28/03-29/03	21,7	11,7	262	137	90
29/03-03/04	71,2	11,7	208	153	111
03/04-08/04	39,7	11,8	181	122	90
08/04/04	28,2	7,3	216	121	58
19/04-01/05	16,9	6,8	208	153	63
01/05-18/05	28,6	7,1	172	100	63
18/05-27/05	19,6	8,5	111	96	63
28/05-05/06	18,2	9,6	164	100	58
05/06-26/06	18,2	9,4	141	102	70
26/06-05/07	15,1	8,9	132	105	90
05/07-24/07	16,8	10,8	132	110	70

Dosagem = g de $Al_2(SO_4)_3 \cdot X14 H_2O$ / L

Taxa = $m^3/m^2 \cdot dia$